

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μικρά ποτάμια»



Των φοιτητών:  
Τσιακίρη Νικόλαου,  
Φώτογλου Δημήτριου  
Αρ. Μητρώου:  
516146,  
516153

Επιβλέπων  
Ονοματεπώνυμο  
Κιοσκερίδης Ν. Ιορδάνης  
Βαθμίδα Καθηγητής

Ημερομηνία 02/09/2022

Τίτλος Δ.Ε. Μελέτη και σχεδίαση συστήματος ηλεκτροπαραγωγής από μικρά ποτάμια

Κωδικός Δ.Ε. 21302

Όνοματεπώνυμο φοιτητή/τών Τσιακίρης Νικόλαος – Φώτογλου Δημήτριος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Ιορδάνης Ν. Κιοσκερίδης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 5/10/21

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 02/09/2022

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Τσιακίρη Νικόλαου και Φώτογλου Δημήτριου που την εκπόνησε/αν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Στις οικογένειες και στους φίλους μας»*

## **Πρόλογος**

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την μελέτη και σχεδίαση συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από μικρά ποτάμια, με τρόπο αποδοτικό και ταυτόχρονα απλό και μικρού κόστους. Ένας από τους λόγους του οποίους επιλέξαμε το συγκεκριμένο θέμα είναι διότι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας όλο και περισσότερο “εισβάλουν” στην καθημερινότητα μας. Στόχος μας ήταν η μελέτη και ο σχεδιασμός ενός συστήματος το οποίο θα μας βοηθήσει να αξιοποιήσουμε τα μικρά ποτάμια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για το οποίο δεν υπάρχουν μελέτες σε Ελληνικό επίπεδο. Μέσα από αυτή τη διπλωματική καταφέραμε για λάβουμε πληροφορίες και γνώσεις ακαδημαϊκού επιπέδου.

## Περίληψη

Αυτή η διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την μελέτη και σχεδίαση συστήματος παραγωγής ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από μικρά ποτάμια, με τρόπο αποδοτικό και ταυτόχρονα απλό και μικρού κόστους και αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος αναλύεται η κίνηση των ρευστών και πιο συγκεκριμένα η ροή του νερού των ποταμών. Επίσης αναφέρονται οι τεχνολογικές συσκευές με τις οποίες κατάφερε ο άνθρωπος να μετρήσει την ταχύτητα των ρευστών, τα ροόμετρα. Κλείνοντας το πρώτο μέρος αναφέρεται βήμα προς βήμα η κατασκευή ενός ροόμετρου για την στιγμιαία μέτρηση της ταχύτητας των ποταμών. Στο δεύτερο μέρος γίνεται μια παραπομπή στην υδροηλεκτρική ενέργεια και τα συστήματα εκμετάλλευσης της καθώς και στον τρόπο λειτουργίας μια σύγχρονης γεννήτριας. Επιπλέον, περιγράφεται και σχεδιάζεται αναλυτικά ένα σύστημα ενός πλωτού τροχού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μικρά ποτάμια. Τέλος, παρατίθενται τα καταληκτικά μας συμπεράσματα καθώς και μερικές προτάσεις βελτίωσης.

# «Hydroelectric power generation from small rivers»

«TSIAKIRIS NIKOLAOS»

«FOTOGLOU DIMITRIOS»

## **Abstract**

This thesis has as its subject the study and design of a renewable electricity production system from small rivers, in an efficient and at the same time simple and low-cost way, and consists of two parts. The first part analyzes the movement of fluids and more specifically the flow of water in rivers. Also mentioned are the technological devices with which man managed to measure the speed of fluids, the flowmeters. Closing the first part, the construction of a flowmeter for the instantaneous measurement of the speed of rivers is described step by step. In the second part, a reference is made to hydroelectric energy and its exploitation systems as well as to the operation of a modern generator. In addition, a system of a floating wheel generating electricity from small rivers is described and designed in detail. Finally, our final conclusions are listed as well as some suggestions for improvement.

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα υπεύθυνο μας Κύριο Ιορδάνη Κιοσκερίδη. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας και τους φίλους μας, για την ηθική συμπαράσταση. Η υποστήριξη σας καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας και η βοήθεια κατά την συγγραφή αυτής της διπλωματικής υπήρξε πολύ σημαντική για εμάς. Σας ευχαριστούμε θερμά όλους.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iv
Περίληψη.....	v
Abstract .....	vi
Ευχαριστίες .....	vii
Περιεχόμενα .....	viii
Κατάλογος Σχημάτων .....	x
Κατάλογος Πινάκων.....	xi
Συνομογραφίες.....	xii
Κεφάλαιο 1ο: ΑΠΕ.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Μορφές ΑΠΕ.....	1
1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	1
1.4 Ενεργειακή ζήτηση.....	2
1.5 Επίλογος.....	3
Κεφάλαιο 2ο: Σύστημα μέτρησης ροής ποταμού.....	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Ρευστά .....	4
2.3 Ροόμετρα .....	6
2.4 Ροόμετρο .....	13
2.4.1 Arduino uno.....	13
2.4.2 Arduino IDE.....	15
2.4.3 Lcd display .....	15
2.4.4 Αισθητήριο PhotoInterrupter.....	17
2.4.5 Προπέλα και Άξονας περιστροφής.....	19
2.4.6 Σωλήνα PVC και κουτί .....	20
2.8 Συναρμολόγηση.....	21
2.9 Μετρήσεις.....	24
2.10 Υπολογισμός βήματος και Σφάλματος.....	24
2.11 Επίλογος.....	25
Κεφάλαιο 3ο: ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ .....	26
3.1 Εισαγωγή.....	26

3.2 Αρχές υδροηλεκτρικής ενέργειας.....	26
3.3 Υδροστρόβιλοι .....	27
3.4 Floating Wheels.....	29
3.4.1 Κινητική και μηχανική ισχύς.....	30
3.4.2 Blockage Ratio (B.R.) .....	32
3.4.3 Συντελεστής απόδοσης ισχύος και αριθμός πτερυγίων.....	33
3.4.4 Πείραμα Πανεπιστημίου Malang .....	35
3.5 Επίλογος.....	37
Κεφάλαιο 4ο: Γεννήτριες.....	38
4.1 Εισαγωγή.....	38
4.2 Ταχύτητα περιστροφής και παραγόμενη τάση στο εσωτερικό της .....	39
4.3 Ισχύς ,Ροπή και απόδοση Σύγχρονης Γεννήτριας .....	40
4.4 Γεννήτριες σε υδροηλεκτρικά έργα.....	42
4.5 Μελέτη γεννήτριας.....	42
4.6 Επίλογος.....	43
Κεφάλαιο 5ο: Μελέτη πλωτού τροχού για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας .....	44
5.1 Εισαγωγή.....	44
5.2 Solidworks και Solidworks drawing .....	44
5.3 Τροχός.....	45
5.4 Στροφές και άξονας μεταφοράς κίνησης.....	50
5.5 Τροχαλίες και ιμάντας.....	53
5.6 Χαρακτηριστικά γεννήτριας.....	55
5.7 Πλεύση .....	56
5.8 Ολική κατασκευή .....	57
5.9 Επίλογος.....	60
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης .....	61
6.1 Συμπεράσματα.....	61
6.2 Προτάσεις βελτίωσης.....	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α .....	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ.....	65
Παράρτημα Α.....	65
Παράρτημα Β.....	67
Παράρτημα Γ.....	69

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 παγκόσμια ετήσια κατανάλωση ενέργειας.....	3
Σχήμα 2.1 ρευματικές γραμμές ενός κινούμενου ρευστού .....	5
Σχήμα 2.2 Η ταχύτητα του νερού σε διάφορα σημεία ενός ποταμού.....	6
Σχήμα 2.3 Η κατανομή της ταχύτητας στη διατομή ενός ποταμού σε ft/sec .....	6
Σχήμα 2.4 απεικόνιση μίας “φέτας” του ποταμού .....	6
Σχήμα 2.5 Variable Area Flowmeters (ABB) .....	7
Σχήμα 2.6 Ultrasonic Flowmeters .....	8
Σχήμα 2.7 Magnetic Flowmeters .....	9
Σχήμα 2.8 Magnetic Flowmeter .....	9
Σχήμα 2.9 Turbine Flowmeters .....	10
Σχήμα 2.10 Paddle Wheel Flowmeters .....	10
Σχήμα 2.11 Vortex Shedding Flowmeters .....	11
Σχήμα 2.12 Variable Area (Float Style) Flowmeters .....	12
Σχήμα 2.13 Differential Pressure Flowmeters .....	12
Σχήμα 2.14 Arduino board .....	13
Σχήμα 2.15 είσοδοι και έξοδοι του Arduino .....	14
Σχήμα 2.16 Πίσω όψη I2c 16x2 .....	15
Σχήμα 2.17 είσοδοι διευθύνσεων .....	16
Σχήμα 2.18 πιθανές διευθύνσεις I2C.....	16
Σχήμα 2.19 πιθανές διευθύνσεις I2C.....	16
Σχήμα 2.20 I2C Lcd pinout .....	17
Σχήμα 2.21 Photointerrupter .....	18
Σχήμα 2.22 τρόπος λειτουργίας ενός φωτοαισθητήρα.....	18
Σχήμα 2.23 Αλλαγή εξόδου με το πέρασμα ενός αντικειμένου .....	19
Σχήμα 2.24 Προπέλα 55mm.....	19
Σχήμα 2.25 Άξονας περιστροφής.....	20
Σχήμα 2.26 Υλικά άξονα.....	20
Σχήμα 2.27 Ταφ Φ40-τάπα.....	21
Σχήμα 2.28 Ροόμετρο.....	21
Σχήμα 2.29 μέτρηση ταχύτητας με μπουκάλι .....	22
Σχήμα 2.30 Μέτρηση interrupts για 0.16m/s .....	23
Σχήμα 2.31 Οθόνη κατά την μέτρηση ταχύτητας .....	24
Σχήμα 3.1 Διάγραμμα λειτουργίας υδροστροβίλων.....	27
Σχήμα 3.2 α) υδροστρόβιλος δράσεως β) υδροστρόβιλος αντιδράσεως.....	28
Σχήμα 3.3 Πίνακας επιλογής κατάλληλου υδροστροβίλου βάση του ύψους.....	28
Σχήμα 3.4 διάγραμμα για την επιλογή κατάλληλου υδροστροβίλου βάση των rpm .....	29
Σχήμα 3.5 διάφοροι πλωτοί μύλοι.....	30
Σχήμα 3.6 διάγραμμα ταχύτητας-ισχύος.....	32
Σχήμα 3.7 Η επίδραση του B.R. στην ισχύ εξόδου.....	33
Σχήμα 3.8 α) τροχός σε ρηχό ποτάμι c) τροχός σε βαθύ ποτάμι .....	33
Σχήμα 3.9 διάγραμμα ταχύτητας-απόδοσης .....	34
Σχήμα 3.10 διάγραμμα αριθμός πτερυγίων-απόδοσης .....	34
Σχήμα 3.11 κατασκευή πανεπιστημίου Malang .....	35

Σχήμα 3.12 διάγραμμα ηλεκτρικής ισχύς της κατασκευής .....	36
Σχήμα 4.1 Κυλινδρικός δρομέας και δρομέας έκτυπων πόλων με δύο και τέσσερις πόλους.....	38
Σχήμα 4.2 Καμπύλη μαγνήτισης ή χαρακτηριστική ανοιχτού κυκλώματος.....	40
Σχήμα 4.3 διάγραμμα ισχύος εισόδου και εξόδου της γεννήτριας.....	41
Σχήμα 5.1 περιβάλλον solidworks .....	44
Σχήμα 5.2 Μενού σχεδίασης solidworks.....	45
Σχήμα 5.3 μενού με χρήσιμα Features .....	45
Σχήμα 5.4 Κύκλος.....	46
Σχήμα 5.5 πάχος ρόδας .....	46
Σχήμα 5.6 τομή ρόδας.....	47
Σχήμα 5.7 εισαγωγή τεσσάρων αξόνων .....	47
Σχήμα 5.8 σχεδιασμός πτερυγίου.....	48
Σχήμα 5.9 Ρόδα μετά την χρήση circular pattern για το πτερύγιο .....	48
Σχήμα 5.10 Σχεδιασμός ρόδας .....	49
Σχήμα 5.11 Διαστάσεις τροχού. ....	49
Σχήμα 5.12 Διάμετρος άξονα .....	50
Σχήμα 5.13 μήκος άξονα.....	51
Σχήμα 5.14 άξονας μεταφοράς στροφών .....	51
Σχήμα 5.15 διαστάσεις άξονα μεταφοράς στροφών .....	52
Σχήμα 5.16 Βάση στήριξης κεντρικού άξονα .....	52
Σχήμα 5.17 Σχεδιασμός τροχαλίας.....	53
Σχήμα 5.18 οδηγός ιμάντα .....	54
Σχήμα 5.19 Αριστερά τροχαλία ρόδας -δεξιά τροχαλία γεννήτριας .....	54
Σχήμα 5.20 Μεταφορά κίνησης με την χρήση ιμάντα .....	55
Σχήμα 5.21 Γεννήτρια.....	56
Σχήμα 5.22 Μπροστινή και πισινή μεριά.....	57
Σχήμα 5.23 Πλαϊνή μεριά από την μεριά της γεννήτριας .....	58
Σχήμα 5.24 πλαϊνή μεριά.....	58
Σχήμα 5.25 Μέρη κατασκευής.....	59
Σχήμα 5.26 διάγραμμα ισχύος-απόδοσης.....	59

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 συνδεσμολογία SCL-SDA σε διάφορες πλακέτες Arduino.....	17
Πίνακας 2.2 Χάρτης ταχύτητας νερού .....	24
Πίνακας 3.1 κατανομή διαφόρων τύπων τροχών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	35
Πίνακας 3.2 χαρακτηριστικά γεννήτριας της κατασκευής που πανεπιστημίου Malang .....	36
Πίνακας 3.3 Ηλεκτρική ισχύς της κατασκευής .....	36
Πίνακας 5.1 Χάρτης ισχύος εξόδου .....	60

## Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙ.ΠΑ.Ε	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
Υ/Η	Υδροηλεκτρικό/ή
B.R.	Blockage Ratio
SRAM	Static random access memory
EEPROM	Electrically erasable programmable read-only memory
LCD	Liquid Crystal display

## Κεφάλαιο 1ο: ΑΠΕ

### 1.1 Εισαγωγή

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι πηγές ενέργειας που είναι άφθονες στο φυσικό περιβάλλον. Είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, ηλιακή ενέργεια, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησαν οι άνθρωποι πριν στραφούν σε μεγάλο βαθμό στη χρήση ορυκτών καυσίμων. Οι ΑΠΕ είναι πρακτικά ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, ενώ περιορίζεται μόνο από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που στοχεύουν στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους. Οι ΑΠΕ είναι μια εγχώρια πηγή ενέργειας που πολλές χώρες ενδιαφέρονται να χρησιμοποιήσουν προκειμένου να μειώσουν την εξάρτησή τους από το ακριβά συμβατικά καύσιμα, αλλά και να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση. Ταυτόχρονα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, αφού έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο τομέας της ενέργειας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κυρίως για τη ρύπανση του[1].

### 1.2 Μορφές ΑΠΕ

Οι κύριες μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι ακόλουθες[1]:

A) Υδραυλική: Είναι η ενέργεια που παράγεται από τις υδατοπτώσεις και αξιοποιείται κυρίως από υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

B) Αιολική: Είναι η ενέργεια που παράγεται από την δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Γ) Ηλιακή: Είναι η ενέργεια που παράγεται από την αξιοποίηση των τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται την θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου.

Δ) Κυματική: Είναι η ενέργεια από την παλίρροια, τα θαλάσσια ρεύματα και τους ωκεανούς.

E) Γεωθερμία: Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από τα βάθη της γης και βρίσκεται σε φυσικούς ατμούς, ζεστό νερό και ζεστούς ξηρούς βράχους.

ΣΤ) Βιομάζα: Είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.

Οι ΑΠΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για θέρμανση όσο και για μετατροπή σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως η ηλεκτρική και η μηχανική ενέργεια.

Για να είναι χρήσιμη μια πηγή ενέργειας είναι αναγκαίες οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- 1) Εύκολη μεταφορά.
- 2) Αυτή η ενέργεια πρέπει να είναι άφθονη και προσβάσιμη, καθιστώντας την εύκολη στη χρήση.
- 3) Η διαδικασία μετατροπής μπορεί να επιτευχθεί εύκολα χωρίς δυσκολία χρησιμοποιώντας σύγχρονα μέσα.
- 4) Εύκολη αποθήκευση.

### 1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι τα εξής [1],[2]:

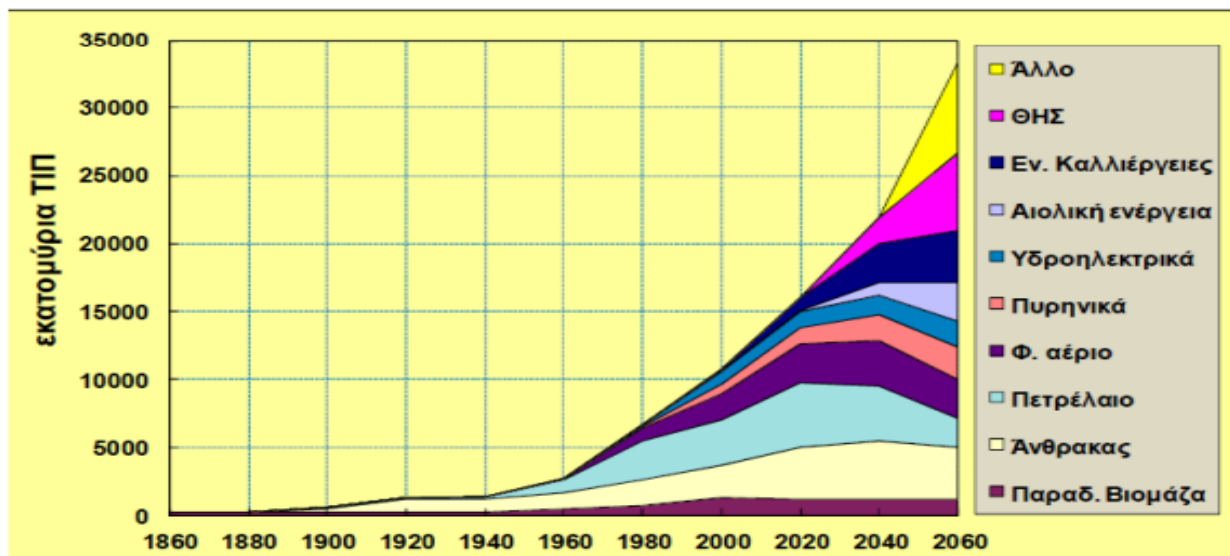
- Αποτελούν μια άφθονη πηγή ενέργειας, η οποία συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησής μας από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας που συμβάλλουν στην ενίσχυση της εθνικής ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του εφοδιασμού.
- Το χαμηλό λειτουργικό τους κόστος δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα τις τιμές των συμβατικών καυσίμων
- Προσφέρουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας προσαρμοσμένης στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας έως αιολική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας), επιτυγχάνοντας έτσι μια πιο ορθολογική χρήση των ενεργειακών πόρων.
- Η γεωγραφική τους διασπορά οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, η οποία με τη σειρά της επιτρέπει την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, μετριάζοντας τα συστήματα υποδομής και ταυτόχρονα μειώνοντας τις απώλειες μετάδοσης ενέργειας.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την αξιοποίηση και ταχεία ανάπτυξή τους:

- Το διάσπαρτο δυναμικό τους καθιστά δύσκολη τη συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας στη μεταφορά και την αποθήκευσή της.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως σημαίνει ότι οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσής τους έχουν χαμηλό συντελεστή αξιοποίησης.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Η διαθεσιμότητά τους μπορεί να είναι απρόβλεπτη και να διαρκέσει για μικρό χρονικό διάστημα, καθιστώντας αναγκαία τη χρήση άλλων πηγών ενέργειας ή δαπανηρών μεθόδων αποθήκευσης.
- Δεν υπάρχει ακόμα αξιόπιστος τρόπος ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών πάνελ.

### 1.4 Ενεργειακή ζήτηση

Υπάρχει τεράστια ζήτηση για ενέργεια σε όλο τον κόσμο με επείγουσα ανάγκη αναζήτησης νέων πηγών ενέργειας. Η ενεργειακή ζήτηση-ανάγκη αναμένεται να αυξηθεί δραματικά μέσα στις επόμενες δεκαετίες σε όλο τον κόσμο, και κατά κύριο λόγο έχουν οι χώρες που βρίσκονται στην Ασία. Για παράδειγμα, η βιομηχανική ανάπτυξη στην Κίνα θα απαιτήσει μέχρι το 2050 την εγκατάσταση νέων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής συνολικής ισχύος 700 GW. Σε σύγκριση με τη συνολική ισχύ των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρωπαϊκή Ένωση σήμερα, είναι περίπου 580 GW. Στον σχήμα 1.1 που ακολουθεί, δίνονται στοιχεία για την παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας [2].



Σχήμα 1.1 παγκόσμια ετήσια κατανάλωση ενέργειας

### 1.5 Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα

Στη Ελλάδα λοιπόν, η συνολική ισχύς από σταθμούς ΑΠΕ αυξήθηκε κατά 290 MW το 2010, αθροίζοντας συνολική εγκατεστημένη ισχύ 1736 MW, πάνω από τα 1446 MW που είχαμε στο τέλος του 2009. Πρωταθλητές στην ανάπτυξη ήταν το έτος όπου τα ηλιακά πάνελ, τα οποία σχεδόν τετραπλασίασαν την διείσδυσή τους στο ενεργειακό μας σύστημα, ξεκινώντας από 53 MW στο τέλος του 2009 και λήγοντας στα 198 MW στα τέλη του 2010. Η νέα αιολική ενέργεια που προστέθηκε το 2010 ανέρχεται σε 131 MW, με αποτέλεσμα το σύνολο των 1298 MW, ενώ μικρή αλλά σημαντική είναι η αύξηση της μικρής υδροηλεκτρικής ενέργειας από 182,6 MW στο τέλος 2009, σε 196,3 στο τέλος του 2010. Όσον αφορά την αιολική ενέργεια, σύμφωνα με το Υπουργικό διάταγμα 19 598 / 01.10.2010, για την επιθυμητή αναλογία εγκατεστημένης ισχύος έως το 2025 μεταξύ διαφόρων Α.Π.Ε. τεχνολογίες, καθορίζουν την επιθυμητή εγκατεστημένη ισχύ των αιολικών έργων με πρώτη περίοδο κατανομής 2014 σε 4000 MW και με χρονικό ορίζοντα 2025 έως 7.500 MW. Οι εθνικοί μας στόχοι για το 2020, στο σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ενεργειακών μοντέλων, αναμένεται να ανταποκριθεί στο χέρι για να αναπτύξει περίπου 13300 MW ΑΠΕ (περίπου 4000 MW σήμερα), συγκεντρώνοντας όλες τις τεχνολογίες που προβάλλουν αιολική ενέργεια πάρκα 7500 MW, 3000 MW υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας με περίπου 2500 MW, ενώ θέρμανση και ψύξη με την ανάπτυξη αντλιών θερμότητας, ηλιακών θερμικών συστημάτων και εφαρμογών βιομάζας [28].

### 1.5 Επίλογος

Τέλος, οι ΑΠΕ αργά ή γρήγορα θα γίνουν απαραίτητες στις ζωές μας καθώς τα συμβατικά καύσιμα, με τον καιρό, λόγω της μείωσης τους θα γίνονται και πιο ακριβά. Η παγκόσμια ζήτηση σε ενέργεια όλο ένα και μεγαλώνει. Στην Ελλάδα οι δύο βασικότερες και πιο διαδεδομένες πηγές ενέργειας είναι η αιολική και ηλιακή ενέργεια. Λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας στο μέλλον ευελπιστούμε να καταφέρουμε να αξιοποιήσουμε εξίσου καλά και τις άλλες ΑΠΕ.

## Κεφάλαιο 2ο: Σύστημα μέτρησης ροής ποταμού

### 2.1 Εισαγωγή

Όλα τα μόρια του νερού αλληλεπιδρούν και μετασχηματίζονται μεταξύ τους μέσω του υδρολογικού κύκλου, ο οποίος περιλαμβάνει ποτάμια, λίμνες, παγόβουνα, υπόγεια ύδατα και ωκεανούς. Το νερό ανακυκλώνεται συνεχώς σταθερά μέσω των διεργασιών εξάτμισης-συμπύκνωσης και της δράσης της βαρύτητας. Ένα μεγάλο ποσοστό των υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται κυρίως από την εξάτμιση από τους ωκεανούς, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό προέρχεται από την επιφανειακή εξάτμιση γλυκού νερού από ποτάμια και λίμνες και από διαπνοή από φυτά. Δεδομένου ότι το νερό τελικά καταλήγει στους ωκεανούς, παράγοντες όπως το κλίμα, η βλάστηση, η τοπογραφία, ο τύπος βράχου, οι χρήσεις γης και τα χαρακτηριστικά του εδάφους παίζουν ρόλο στον καθορισμό της ποσότητας και του είδους της απορροής. Αυτή η επιφανειακή απορροή είναι πιο ορατή σε ξηρές και παγωμένες περιοχές όπου το έδαφος έχει μικρή απορροφητικότητα [7]. Η κίνηση λοιπόν, του νερού του ποταμού οφείλεται στη βαρύτητα και στο σχήμα του εδάφους. Όσο αυξάνεται η κλίση του εδάφους τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα του. Η ταχύτητα ενός ποταμού δεν είναι σταθερή σε όλο το μήκος του καθώς κοντά στις όχθες είναι μικρότερη και μεγαλύτερη στο κέντρο. Η μέγιστη ταχύτητα εμφανίζεται λίγο κάτω από την επιφάνεια του νερού.

Οι ποταμοί χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους μόνιμους ποταμούς, όπου το νερό ρέει όλο το χρόνο, ακόμη και τις εποχές με τις λιγότερες βροχοπτώσεις, και τους εποχικούς ή χειμαρρους. Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια, η μείωση των βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή οδήγησε σε αντίστοιχη μείωση της απορροής των ποταμών. Αυτό είχε ως σκοπό να χρησιμοποιείται εντατική αποθήκευση νερού για άρδευση. Η κινητική ενέργεια ενός ποταμού του δίνει τη δυνατότητα να μεταφέρει υλικά προς μία κατεύθυνση. Το μέγεθος αυτών των υλικών εξαρτάται από την ταχύτητα του ποταμού. Τα ρέματα μέσης ταχύτητας μεταφέρουν μικρό υλικό όπως χαλίκι, ενώ τα ορμητικά μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες πέτρες. Για αυτό το λόγο το μεγαλύτερο μέρος της κινητικής ενέργειας σε ένα ποτάμι απορροφάτε από την τριβή [7].

### 2.2 Ρευστά

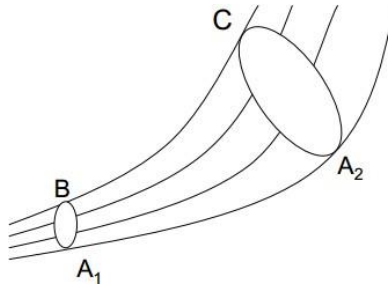
Κάθε ρευστό έχει συγκεκριμένες ιδιότητες όπως πίεση, πυκνότητα, ρυθμός ροής και εσωτερική ενέργεια-θερμοκρασία. δυναμική, κινητική και μηχανική ενέργεια. και δυναμική και κινηματική συνεκτικότητα.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ροής, η στρωτή και η τυρβώδης ροή. Είναι δύο τύποι ροής που εμφανίζονται σε διαφορετικά μέρη ενός συστήματος ροής ρευστού. Αυτός ο χαρακτηρισμός της στρωτής ροής γίνεται από μια δυναμική άποψη, η οποία προϋποθέτει ότι το ρευστό αποτελείται από πολλά λεπτά στρώματα που ολισθαίνουν το ένα πάνω στο άλλο. Οι δυνάμεις των τριβών μεταξύ του ρευστού και των συμπαγών τοιχωμάτων είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις αδράνειας. Οι στρωτές ροές είναι μια θεωρητική περίπτωση που πολύ σπάνια παρατηρείται στη φύση. Σε τυρβώδη ή στροβιλώδη ροή, οι γραμμές ροής του ρευστού παίρνουν ένα ακανόνιστο σχήμα καμπύλης, οι οποίες τέμνονται συνεχώς μεταξύ τους. Αυτό δίνει μια εικόνα δίνης. Μια εικόνα ταραχώδους ροής δίνουν τα ποτάμια όταν παρατηρούνται σε αυτά δίνες, που μπορεί να προκληθούν από υπόγεια ρεύματα ή τριβές σε βραχώδεις όχθες. Η ροή γίνεται τυρβώδης όταν οι δυνάμεις αδράνειας υπερβαίνουν τις δυνάμεις

## Κεφάλαιο 2

συνοχής. Η κίνηση των πραγματικών ρευστών είναι πολύπλοκη και χαοτική, αλλά σε ορισμένες περιοχές μπορεί να θεωρηθεί στρωτή[8] .

Τα ιδανικά ρευστά θεωρείται ότι έχουν στρωτή ροή η οποία δεν συναντά αντίσταση, είναι ασυμπίεστα και δεν και δεν περιστρέφονται. Έστω ότι ένα κινούμενο ρευστό ακολουθεί τις ρευματικές γραμμές όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1 ρευματικές γραμμές ενός κινούμενου ρευστού

Στο σημείο B το ρευστό κινείται με ταχύτητα  $u_1$ . Στο χρονικό διάστημα  $dt$ , ένα «σωματίδιο» του ρευστού θα διανύσει απόσταση  $u_1 * dt$  και ο όγκος  $V = A_1 * u_1 * dt$  θα διέλθει από τη διατομή  $A_1$ . Εφόσον το ρευστό είναι ασυμπίεστο ο ίδιος όγκος θα περάσει και από το C. Εάν η ταχύτητα στο σημείο C είναι  $u_2$  τότε ισχύει ότι  $dV = A_1 * u_1 * dt = A_2 * u_2 * dt$  ή

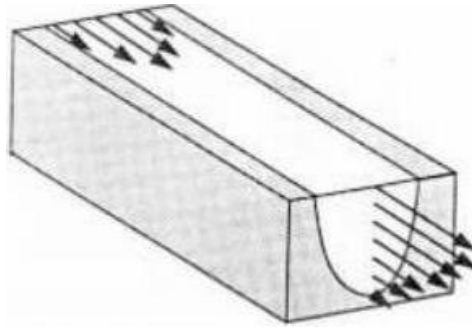
$$Q = dV/dt = A * u = \text{σταθ.} \quad (2.1)$$

Παροχή Q ονομάζεται ο όγκος  $dV$  του ρευστού που διέρχεται από μία διατομή σε χρόνο  $dt$ :  $Q = dV/dt$ . Μονάδα μέτρησης της παροχής είναι τα  $m^3/s$ . Η παροχή είναι σταθερή κατά μήκος οποιασδήποτε ροής.

Στα στενότερα τμήματα ενός σωλήνα η ροή είναι ταχύτερη καθώς οι ρευματικές γραμμές γίνονται πυκνότερες. Έτσι, σε ένα ποτάμι με σταθερό πλάτος, το ρεύμα θα είναι γρηγορότερο στο ρηχό τμήμα του, καθώς θα έχει μικρότερη διατομή από το βαθύ τμήμα και η παροχή παραμένει η ίδια. Κατά συνέπεια, το νερό θα έχει μεγαλύτερη ταχύτητα εκεί όπου το ποτάμι είναι ρηχό και μικρότερη εκεί που είναι βαθύ[8].

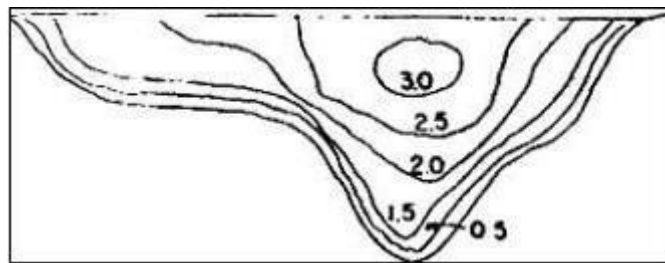
Η ροή σε ένα ποτάμι εξαρτάται από το ανάγλυφο του καθώς αυτό κινείται λόγω της βαρύτητας. Ένας ακόμη παράγοντας, εκτός από την βαρύτητα, αποτελεί και η τριβή μεταξύ του νερού και των τοιχωμάτων της κοίτης. Για αυτόν τον λόγο, σημαντική μείωση της ταχύτητας παρατηρείται στις ακτές και στο βυθό του ποταμού. Έτσι, η ταχύτητα του νερού εξαρτάται άμεσα από τις δυνάμεις τριβής οι οποίες αναπτύσσονται και αυτές προσδιορίζονται από το σχήμα και το μέγεθός του.

Η μέγιστη ταχύτητα του νερού παρατηρείται στο κέντρο του ρεύματος και σε βάθος ακριβώς κάτω από την επιφάνεια. Κατά τη μελέτη της ροής ενός ποταμού, εκτός από την ταχύτητα, λαμβάνεται υπόψη και ο ρυθμός ροής (παροχή), ο οποίος εκφράζει την ποσότητα του νερού που ρέει μέσω ενός τμήματος του ποταμού ανά μονάδα χρόνου. Έτσι, το νερό δεν ρέει με την ίδια ταχύτητα σε όλο το ποτάμι. Το μήκος των βελών στο Σχήμα 2.2 είναι ανάλογο της ταχύτητας του ρεύματος στο αντίστοιχο σημείο[8].

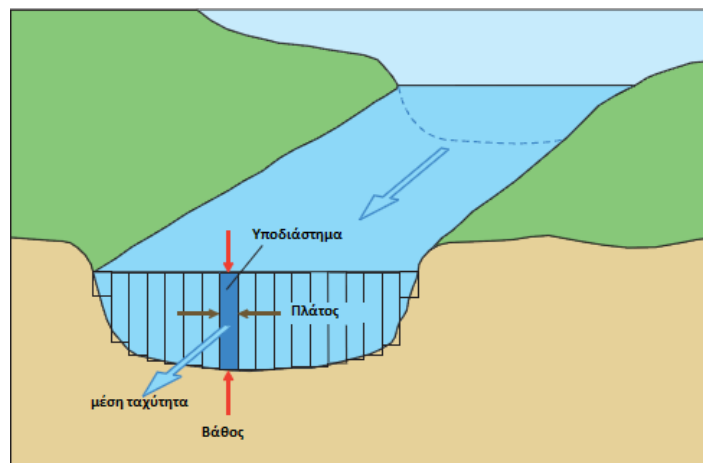


Σχήμα 2.2 Η ταχύτητα του νερού σε διάφορα σημεία ενός ποταμού

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατανομή της ταχύτητας σε μια διατομή ενός ποταμού[24].



Σχήμα 2.3 Η κατανομή της ταχύτητας στη διατομή ενός ποταμού σε ft/sec



Σχήμα 2.4 απεικόνιση μίας “φέτας” του ποταμού

Η μεγαλύτερη ταχύτητα σε m/sec, σημειώνεται λίγο κάτω από την επιφάνεια του νερού.

## 2.3 Ροόμετρα

Τα ροόμετρα αποτελούν όργανα μέτρησης της ταχύτητας και της παροχής των ρευστών είτε σε κλειστούς είτε σε ανοιχτούς αγωγούς. Παρακάτω αναφέρονται διάφοροι τύποι ροόμετρων.

### 2.3.1 Ροόμετρα μεταβαλλόμενης επιφάνειας (Variable Area Flowmeters)

Τα ροόμετρα μεταβαλλόμενης περιοχής μετρούν τη ροή χρησιμοποιώντας ένα πολύ στενό περιθώριο για να επιτρέψουν στο ρευστό να αλλάξει την ταχύτητα και την κίνησή του μέσα σε ένα εξάρτημα. Όταν η ροή αυξάνεται, το ρευστό παράγει περισσότερη δύναμη και έτσι μετακινεί το εσωτερικό του ροόμετρου περισσότερο.

Τα ροόμετρα μεταβλητής επιφάνειας είναι πολύ ακριβή όργανα για τη μέτρηση της ροής υγρών και αερίων όπως το νερό, ο αέρας, τα βιομηχανικά αέρια και τα χημικά, πρέπει να χρησιμοποιούνται όμως με πολύ προσοχή διότι η χρήση αυτών των εξαρτημάτων σε βρώμικα ή αδιαφανή υγρά να μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον μετρητή[15].



Σχήμα 2.5 Variable Area Flowmeters (ABB) [29]

### 2.3.2 Ροόμετρα υπερήχων (Ultrasonic Flowmeters)

Τα ροόμετρα υπερήχων χρησιμοποιούν ηχητικά κύματα για να μετρήσουν την ταχύτητα ενός ρευστού που ρέει σε έναν σωλήνα. Όταν το υγρό δεν ρέει, η συχνότητα των κυμάτων υπερήχων που μεταδίδονται στον σωλήνα είναι η ίδια. Σε συνθήκες ροής, η συχνότητα του ανακλώμενου κύματος είναι διαφορετική λόγω του φαινομένου Doppler. Όταν το υγρό κινείται γρήγορα, η μετατόπιση συχνότητας είναι γραμμική. Ο δέκτης επεξεργάζεται το σήμα από το μεταδιδόμενο σήμα και τις αντανakλάσεις του για να μετρήσει τον ρυθμό ροής. Τα θετικά αυτής της συσκευής περιλαμβάνουν την υψηλή της ακρίβεια και το γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιβάλλοντα υψηλής πίεσης και ακραίων θερμοκρασιών. Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος, την ευαισθησία σε απροσδόκητα χτυπήματα και τις αλλαγές στη διάμετρο του σωλήνα με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ακρίβεια.

Οι μετρητές ροής υπερήχων χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση της ταχύτητας των υγρών που επιτρέπουν τη διέλευση κυμάτων υπερήχων, όπως το νερό, το λιωμένο θείο, τα κρυογόνα υγρά και τα χημικά. Με μικρές τροποποιήσεις, μπορούν να μετρήσουν τις ροές φυσικού αερίου και ατμού. Πολλά αδιαφανή υγρά μπορεί να περιορίσουν τη διείσδυση υπερηχητικών κυμάτων πολύ κοντά στο τοίχωμα του σωλήνα, με αποτέλεσμα την επιδείνωση της ακρίβειας[15].

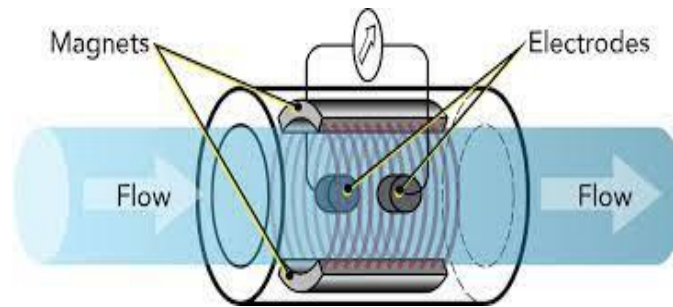


Σχήμα 2.6 Ultrasonic Flowmeters [30]

### 2.3.3 Μαγνητικά Ροόμετρα (Magnetic Flowmeters)

Τα ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα χρησιμοποιούν τον νόμο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής για να προσδιορίσουν τη ροή του ρευστού σε έναν σωλήνα. Το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται από ένα μαγνητικό ροόμετρο και κατευθύνεται στο ρευστό που ρέει μέσω του σωλήνα. Σύμφωνα με το νόμο του Faraday, ένα αγώγιμο ρευστό παράγει ένα σήμα τάσης όταν διέρχεται από ένα μαγνητικό πεδίο. Αυτό το σήμα πρέπει να ανιχνεύεται από ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στο τοίχωμα του σωλήνα ροής. Όταν το υγρό κινείται πιο γρήγορα, δημιουργείται περισσότερη πίεση. Ο νόμος του Faraday δηλώνει ότι η τάση που προκύπτει είναι ανάλογη με την κίνηση του ρέοντος ρευστού. Οι ηλεκτρονικοί πομποί επεξεργάζονται την τάση για να καθορίσουν τη ροή του υγρού. Αντιπροσωπεύουν το 23% των πωλήσεων ροόμετρου. Η ακρίβειά τους είναι μέτρια και γενικά δεν χρησιμοποιούνται για ακριβή υλικά. Μπορούν να προσαρμοστούν για υγιεινή χρήση και σε διάφορα μεγέθη, ανεπηρέαστα από πτώση πίεσης. Το όργανο μπορεί να μετρήσει τα βρώμικα υγρά και τους πολλούς πολύ αξιόπιστα. Από τη μία πλευρά, δεν είναι κατάλληλα για μη αγώγιμα υγρά όπως το λάδι. Από την άλλη πλευρά, έχει αποδειχθεί ότι σε ορισμένες περιπτώσεις μεταφέρουν αποτελεσματικά την ηλεκτρική ενέργεια.

Τα ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ταχύτητας των ρευστών στους σωλήνες. Αυτό είναι χρήσιμο για πράγματα όπως το νερό, το οξύ, το καυστικό και ο πολτός. Όταν η αγωγιμότητα του υγρού είναι μεγαλύτερη από περίπου 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , το ηλεκτρομαγνητικό ροόμετρο μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια. Πρέπει να δίνεται προσοχή όταν χρησιμοποιούνται μαγνητικούς μετρητές ροής σε υγρά χαμηλής αγωγιμότητας, όπως απιονισμένο νερό, νερό τροφοδοσίας λέβητα, καθώς αυτό μπορεί να απενεργοποιήσει τον αισθητήρα, με αποτέλεσμα μηδενική ένδειξη. Δεν εμποδίζουν τη ροή και επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για καθαρά, υγιεινά, βρώμικα διαβρωτικά και λειαντικά υγρά [15].



Σχήμα 2.7 Magnetic Flowmeters [31]

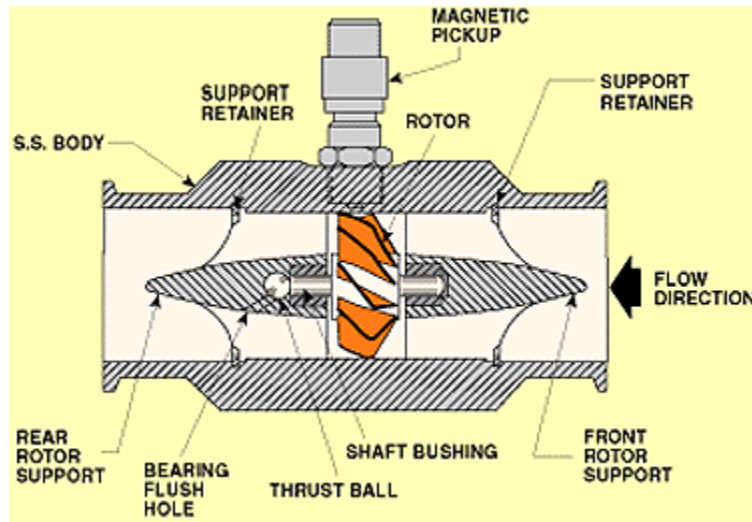


Σχήμα 2.8 Magnetic Flowmeter [32]

#### 2.3.4 Ροόμετρα στροβίλου (Turbine Flowmeters)

Οι μετρητές ροής στροβίλου χρησιμοποιούν την κινητική ενέργεια του ρευστού για να περιστρέψουν έναν ρότορα στη ροή. Τα πτερύγια του ρότορα έχουν κλίση προκειμένου να μετατραπεί το ρεύμα ροής σε περιστροφική ενέργεια. Τα ρουλεμάν επιτρέπουν στον άξονα να περιστρέφεται. Όταν το ρευστό κινείται πιο γρήγορα, ο ρότορας περιστρέφεται αναλογικά πιο γρήγορα. Η κίνηση των λεπίδων ανιχνεύεται χρησιμοποιώντας μαγνήτες και κάθε λεπίδα παράγει έναν παλμό όταν το υγρό κινείται πιο γρήγορα. Καθώς το υγρό κινείται πιο γρήγορα, ο αριθμός των παλμών που παράγονται αυξάνεται. Αντιπροσωπεύουν το 7% των πωλήσεων ροόμετρου. Το κόστος τους είναι στη μεσαία κατηγορία. Είναι ιδανικό για ρευστά μέσης και σταθερής ταχύτητας. Μπορεί να είναι πολύ χαμηλή σε σύγκριση με τη μέγιστη ροή.

Τα ροόμετρα στροβίλου μετρούν την ταχύτητα των υγρών αερίων και των ατμών στους σωλήνες. Χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές, όπως χημικές ουσίες υδρογονανθράκων, νερό, κρυογόνα υγρά, αέρας και βιομηχανικά αέρια. Διατίθενται ροόμετρα στροβίλου υψηλής ακρίβειας για τη μεταφορά υδρογονανθράκων και φυσικού αερίου. Ένας αλγόριθμος διόρθωσης ιδιοτήτων πίεσης, θερμοκρασίας και ρευστού συχνά ενσωματώνεται σε έναν υπολογιστή ροής προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια για μια συγκεκριμένη εφαρμογή[15].

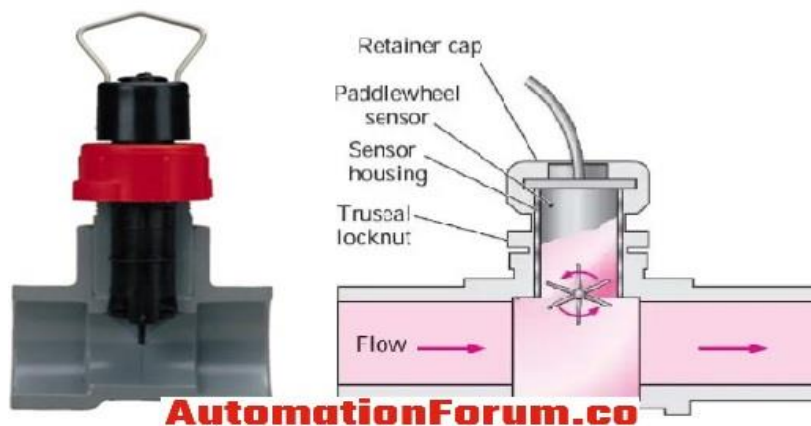


Σχήμα 2.9 Turbine Flowmeters [33]

### 2.3.5 Ροόμετρα προπέλας (Paddle Wheel Flowmeters)

Τα ροόμετρα προπέλας χρησιμοποιούν την κινητική ενέργεια του ρευστού για να περιστρέψουν μια προπέλα στο ρεύμα ροής. Τα πτερύγια του ρότορα που εισάγονται στη ροή μετατρέπουν την ενέργεια από το ρεύμα σε κινητική ενέργεια. Καθώς το ρευστό κινείται πιο γρήγορα, η πτερωτή αυξάνεται αναλογικά πιο γρήγορα. Εάν το υγρό κινείται πιο γρήγορα, παράγονται και περισσότεροι παλμοί. Ο πομπός επεξεργάζεται το παλμικό σήμα για να καθορίσει τη ροή του υγρού.

Τα ροόμετρα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ταχύτητας των ρευστών στους σωλήνες. Μπορεί να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια εάν εγκατασταθεί προσεκτικά. Τοποθετούνται στο τέλος του προφίλ ροής. Η πιο κοινή χρήση αυτών των συσκευών είναι σε συστήματα παρακολούθησης νερού καθώς παρακολουθούνται τα επίπεδα άλλων μεταβλητών, όπως pH / ORP, αγωγιμότητα, πίεση και θερμοκρασία. Όλοι οι αισθητήρες εισάγονται στον ίδιο σωλήνα και συνδέονται με έναν ελεγκτή/πομπό. Υπάρχουν περιορισμοί στη θερμοκρασία και την πίεση αυτού του συστήματος εισαγωγής, αλλά είναι πολύ ευέλικτο. Τα ροόμετρα προπέλας χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία νερού και χημικών. Χρησιμοποιούνται επίσης σε εταιρείες ύδρευσης[15].

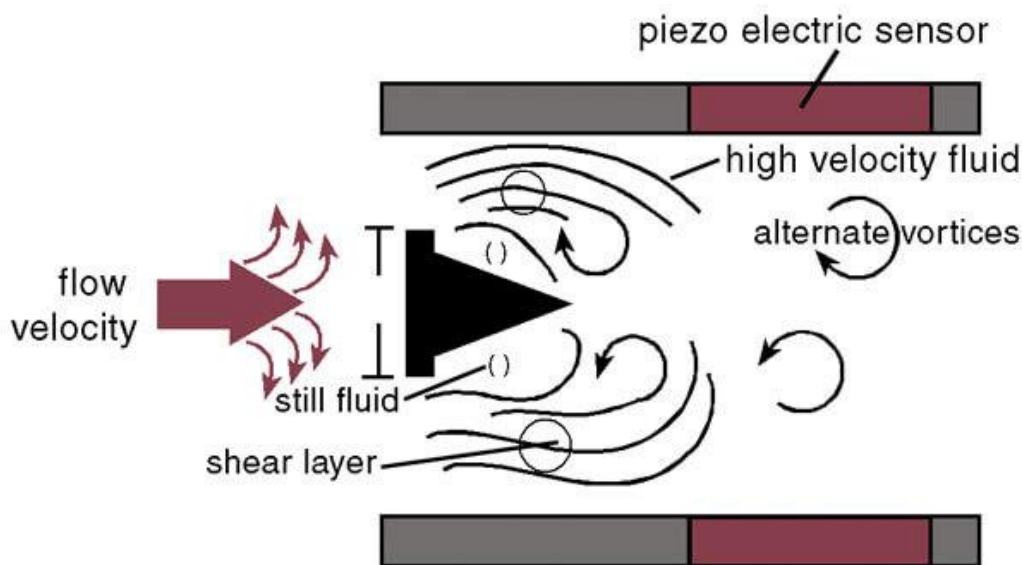


Σχήμα 2.10 Paddle Wheel Flowmeters [34]

### 2.3.6 Ροόμετρα απόπτωσης δίνης (Vortex Shedding Flowmeters)

Η ταλάντωση προκαλείται όταν ένα ρευστό διέρχεται από ένα αντικείμενο ή ένα εμπόδιο. Η ταλάντωση συνήθως σταματά όταν επιβραδύνεται η ροή του φαινομένου. Το ροόμετρο vortex είναι ένα ροόμετρο που ταλαντώνεται λόγω ροής. Η αρχή λειτουργίας και η γεωμετρία του σχετίζονται με την αποπτωτική δίνη, η οποία είναι μέρος του φαινομένου Coanda. Η συχνότητα των στροβιλισμών είναι ανάλογη του ρυθμού ροής του υγρού. Το φαινόμενο Coanda είναι ένα φαινόμενο στους μετρητές ροής δίνης που προκαλεί δύο κανάλια ανάδρασης να κατευθύνουν εναλλάξ τη ροή ρευστού πίσω στην είσοδο του μετρητή. Η συχνότητα αναπλήρωσης μεταξύ των καναλιών ανάδρασης σχετίζεται άμεσα με τον ρυθμό ροής του υγρού.

Τα ροόμετρα Vortex μπορούν να μετρήσουν την ταχύτητα υγρών, αερίων και ατμού όπως νερό, νερό τροφοδοσίας λέβητα, υδρογονάνθρακες, χημικές ουσίες, αέρας, άζωτο, βιομηχανικά αέρια και ατμός. Η ταχύτητα με την οποία συνήθως απενεργοποιούνται αυτοί οι μετρητές ροής είναι 0,3 m/sec (1 ft/sec) για υγρά, αλλά είναι συνήθως υψηλότερη για τα αέρια / ατμούς[15].



Σχήμα 2.11 Vortex Shedding Flowmeters [35]

### 2.3.7 Ροόμετρα μεταβαλλόμενης επιφάνειας (Variable Area (Float Style) Flowmeters)

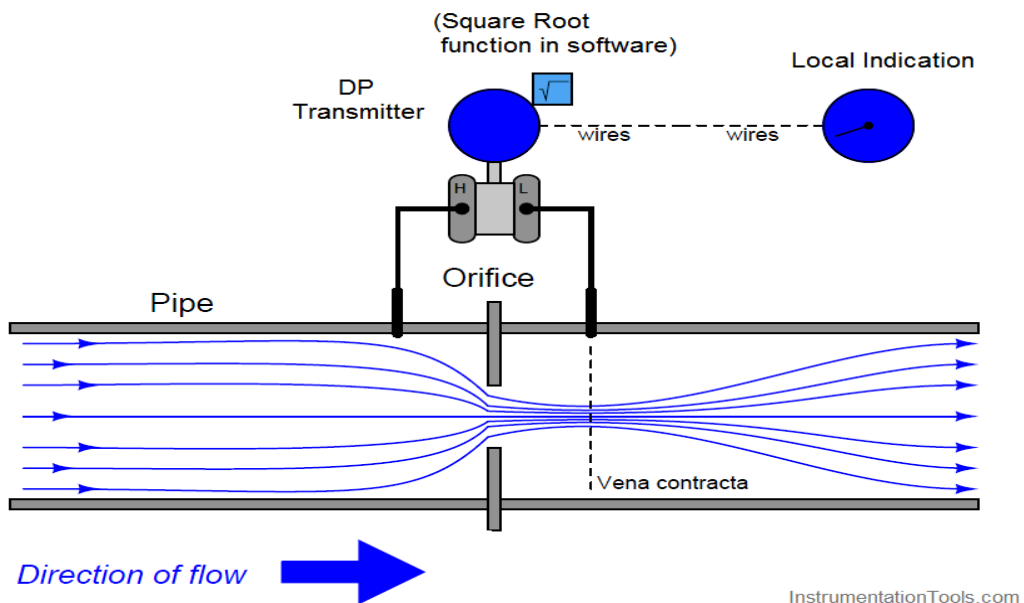
Οι μετρητές ροής μεταβλητής περιοχής μετρούν τη ροή επιτρέποντας στο ρευστό να αλλάξει το μέγεθος μιας μικρής οπής μέσα στη στενή άκρη του εσωτερικού στοιχείου. Όταν ο ρυθμός ροής αυξάνεται, το ρευστό δημιουργεί περισσότερη δύναμη, άρα τα εσωτερικά στοιχεία κινούνται περισσότερο. Η επιφάνεια ενός μετρητή μεταβλητής ροής εγκατεστημένο σε κατακόρυφο σωλήνα μετρά τη ροή του υγρού με ισορροπημένο τρόπο, η ανοδική δύναμη του κινούμενου ρευστού εξουδετερώνει την καθοδική δύναμη του μετρητή, το αιωρούμενο τμήμα του μετρητή ροής επιτρέπει την εγκατάσταση σε οριζόντιο σωλήνα λόγω της λειτουργίας του πλωτήρα Δεν εξαρτάται από τη βαρύτητα. Αυτοί οι σωλήνες ροόμετρου έχουν σημάδια στον γυάλινο ή πλαστικό σωλήνα που υποδεικνύουν το ύψος του πλωτήρα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της ροής ρευστού.[15]



Σχήμα 2.12 Variable Area (Float Style) Flowmeters [36]

### 2.3.8 Ροόμετρα Διαφοράς Πίεσης (Differential Pressure Flowmeters)

Οι μετρητές ροής διαφορικής πίεσης χρησιμοποιούν την εξίσωση του Bernoulli για τη μέτρηση της ροής ρευστού στους σωλήνες. Οι μετρητές ροής διαφορικής πίεσης δημιουργούν πτώση πίεσης σε όλο το ροόμετρο λόγω της στένωσης του σωλήνα. Όταν ο ρυθμός ροής αυξάνεται, εμφανίζεται μεγαλύτερη πτώση πίεσης, με αποτέλεσμα υψηλότερο ρυθμό ροής. Υπάρχουν δύο συσκευές που μετρούν τη διαφορική πίεση για τον προσδιορισμό της ροής του υγρού. Η εξίσωση του Bernoulli δηλώνει ότι η πτώση πίεσης στη στένωση είναι ανάλογη με το τετράγωνο της ταχύτητας ροής. Η τεχνολογία κατέχει μερίδιο 21% της παγκόσμιας αγοράς μετρητών ροής [15].

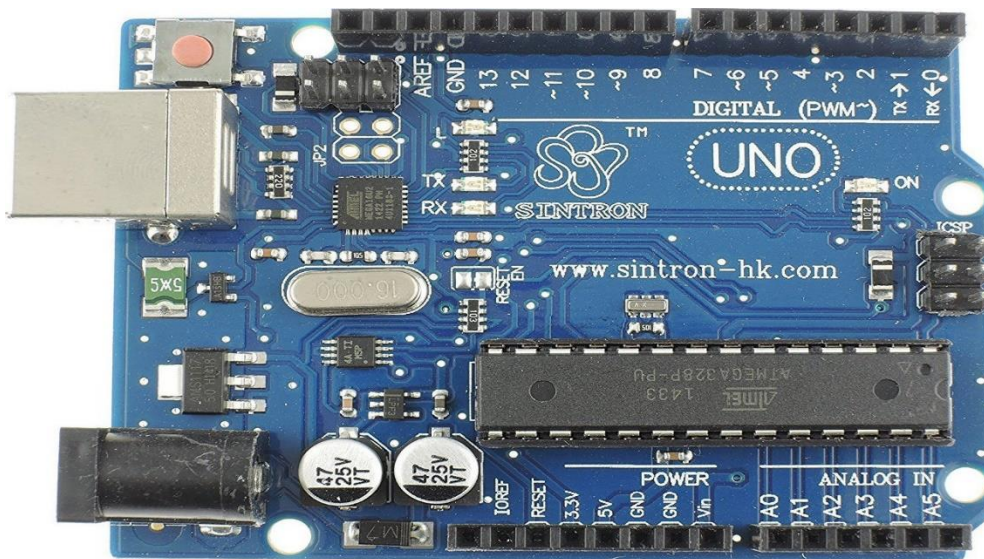


Σχήμα 2.13 Differential Pressure Flowmeters [37]

## 2.4 Ροόμετρο

Η κατασκευή του ροόμετρου μας είναι βασισμένη στα ροόμετρα στροβίλου και προπέλας. Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικά τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του.

### 2.4.1 Arduino uno

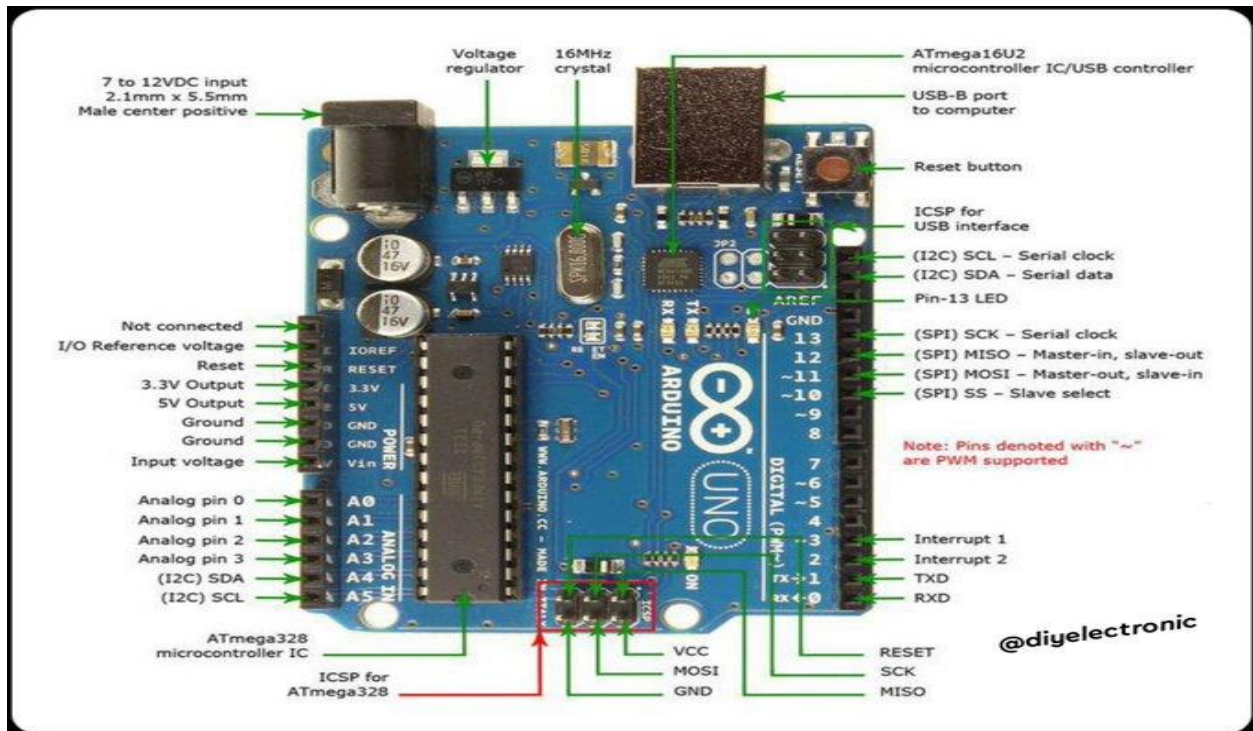


Σχήμα 2.14 Arduino board

Το Arduino είναι μια πλατφόρμα πρωτότυπων ηλεκτρονικών ανοιχτού κώδικα που βασίζεται σε ευέλικτο και εύχρηστο υλικό και λογισμικό. Προορίζεται για οποιονδήποτε έχει μικρή εμπειρία προγραμματισμού, βασικές γνώσεις ηλεκτρονικών και ενδιαφέρεται για τη δημιουργία διαδραστικών αντικειμένων ή περιβαλλόντων.

Το Arduino βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328, ο οποίος είναι ένας μικροελεγκτής RISC 8-bit που λειτουργεί σε συχνότητα 16MHz. Ο ATmega328 διαθέτει τρεις τύπους ενσωματωμένης μνήμης:

- SRAM 2Kb, όπου αποτελεί την ωφέλιμη μνήμη για την αποθήκευση πινάκων, μεταβλητών κτλπ.
- EEPROM 1Kb, η οποία χρησιμοποιείται για εγγραφή και ανάγνωση
- Flash 32Kb, Εκ των οποίων 2 KB χρησιμοποιούνται από το firmware και τα υπόλοιπα 30Kb χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των προγραμμάτων αφού πρώτα αυτά μεταγλωττιστούν. [15] [16]



Σχήμα 2.15 είσοδοι και έξοδοι του Arduino

Το Arduino διαθέτει μια σειριακή θύρα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επικοινωνία με άλλες συσκευές. Ο μικροελεγκτής ATmega υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία, την οποία το Arduino προωθεί μέσω ενός ελεγκτή Serial-over-USB για σύνδεση σε υπολογιστή. Αυτή η σύνδεση επιτρέπει τη μεταφορά των προγραμμάτων που έχουν σχεδιαστεί από τον υπολογιστή στο Arduino, καθώς και την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του Arduino και του υπολογιστή μέσω του προγράμματος ενώ εκτελείται.

Στην επάνω πλευρά του Arduino, υπάρχουν δεκατέσσερις θηλυκές ακίδες αριθμημένες από το 0 έως το 13. Αυτές οι ακίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την είσοδο και την έξοδο ψηφιακών πληροφοριών. Μπορούν να λειτουργήσουν σε τάση 5V και το καθένα μπορεί να τροφοδοτεί ή να δέχεται το πολύ 40mA.

Οι ακίδες 2 και 3 χρησιμεύουν επίσης ως εξωτερικά interrupts. Μπορούν, δηλαδή, να ρυθμιστούν στο πρόγραμμά για να σταματήσουν την εκτέλεση του προγράμματος μετά από συγκεκριμένες αλλαγές. Οι εξωτερικές διακοπές μπορεί να είναι πολύ χρήσιμες σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό υψηλής ακρίβειας.

Το Arduino μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε από τον υπολογιστή είτε από εξωτερικό τροφοδοτικό. Το Arduino διαθέτει μια υποδοχή τροφοδοσίας 2.1 mm. Τα power banks μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω θύρας mini-USB. [15] [16].

### 2.4.2 Arduino IDE

Το Arduino IDE παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων λογισμικού που μας επιτρέπει να διαχειριστούμε τις συσκευές Arduino από τον υπολογιστή μας. Ουσιαστικά είναι το περιβάλλον στο οποίο γράφουμε τον κώδικά μας. Το Arduino IDE βασίζεται σε Java και μας παρέχει:

- 1) Ένα πρακτικό περιβάλλον για τη δημιουργία προγραμμάτων
- 2) Βιβλιοθήκες
- 3) Τον compiler
- 4) οθόνη επικοινωνίας σειριακής παρακολούθησης ( μόνο μέσω USB)

### 2.4.3 Lcd display

Η οθόνη η οποία χρησιμοποιήσαμε ονομάζεται I2C 16x2 LCD.

Η I2C\_LCD είναι μια εύχρηστη μονάδα οθόνης. Η χρήση της μπορεί να μειώσει τη δυσκολία της κατασκευής σε σχέση με την ευρέως διαδεδομένη οθόνη lcd display 16x2. Με την χρήση αυτής της οθόνης χρειάζεται να εισάγουμε λίγες γραμμές κώδικα. [13]

Στην καρδιά του προσαρμογέα βρίσκεται ένα τσιπ επέκτασης I/O 8-bit – PCF8574. Αυτό το τσιπ μετατρέπει τα δεδομένα I2C από ένα Arduino στα δεδομένα που απαιτούνται για μια οθόνη LCD. Επίσης περιλαμβάνει και ένα ποτενσιόμετρο για την ρύθμιση της αντίθεσης της οθόνης. [13]



Σχήμα 2.16 Πίσω όψη I2c 16x2

Για να ορίσουμε την οθόνη μας αρχικά θα πρέπει να βρούμε την διεύθυνση της. Επειδή αρκετές εταιρίες κατασκευάζουν αυτές τις οθόνες, όπως η Texas Instruments και η NXP Semiconductors, γι' αυτό τον λόγο η IP της κάθε μίας διαφέρει.

Σύμφωνα με το φύλλο δεδομένων της Texas Instruments, τα τρία bit επιλογής διευθύνσεων (A0, A1 και A2) τοποθετούνται στο τέλος του καταχωρητή διευθύνσεων I2C 7-bit.[13]

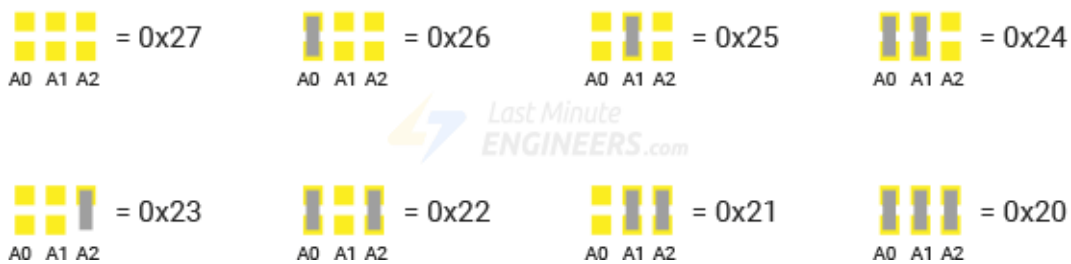


Σχήμα 2.17 είσοδοι διευθύνσεων

Εφόσον υπάρχουν 3 είσοδοι διευθύνσεων, οι οποίες μπορούν να λάβουν 2 καταστάσεις, HIGH/LOW, μπορούμε επομένως να δημιουργήσουμε 8 (2<sup>3</sup>) διαφορετικούς συνδυασμούς (διευθύνσεις).

Από προεπιλογή, και οι 3 είσοδοι διεύθυνσης είναι HIGH, δίνοντας στο PCF8574 μια προεπιλεγμένη διεύθυνση I2C 0100111Binary ή 0x27Hex.

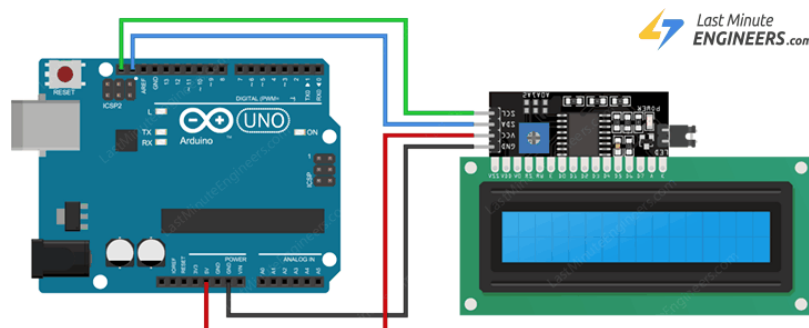
Εάν βραχυκυκλώσουμε και τα τρία jumpers, η διεύθυνση θα είναι 0x20. Καθώς όλα θέτονται στο LOW Το εύρος όλων των πιθανών διευθύνσεων εκτείνεται από 0x20 έως 0x27. [13]



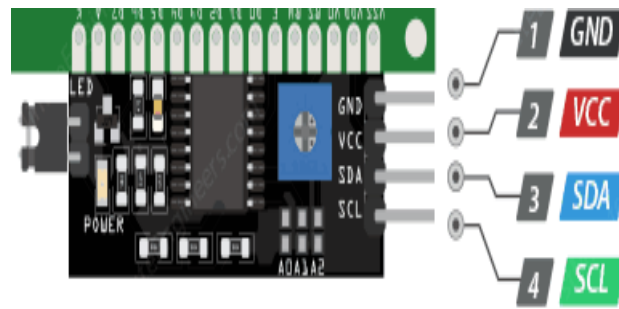
Σχήμα 2.18 πιθανές διευθύνσεις I2C

Η διεύθυνση μπορεί να προσδιοριστεί μέσω USB και μέσω της σειριακής παρακολούθησης, χρησιμοποιώντας το κατάλληλο κομμάτι κώδικα. Στην δικιά μας περίπτωση η οθόνη μας έχει διεύθυνση 0x27.

Μια οθόνη LCD I2C έχει μόνο 4 ακίδες που τη συνδέουν με την πλακέτα μας. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα 2.17.



Σχήμα 2.19 πιθανές διευθύνσεις I2C



Σχήμα 2.20 I2C Lcd pinout

Το GND συνδέεται στην γείωση του Arduino.

Το VCC αποτελεί τη τροφοδοσία της LCD και συνδέεται στα +5Vdc.

Το SDA και SCL έχουν να κάνουν με το μοντέλο του Arduino. (πίνακας 2.1)

Πίνακας 2,1 συνδεσμολογία SCL-SDA σε διάφορες πλακέτες Arduino.

	SCL	SDA
Arduino Uno	A5	A4
Arduino Nano	A5	A4
Arduino Mega	21	20
Leonardo/Micro	3	2

Στη δική μας περίπτωση έχουμε το Arduino Uno έτσι το pin SDA θα συνδεθεί στην θύρα A4 και αντίστοιχα το pin SCL στην θύρα A5.

Όσον αφορά το πρόγραμμα μας θα χρειαστεί να εγκαταστήσουμε την βιβλιοθήκη LiquidCrystal\_I2C και να την ορίσουμε ως `#include <LiquidCrystal_I2C.h>` καθώς και να ορίσουμε την διεύθυνση ως `LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 24, 4)`

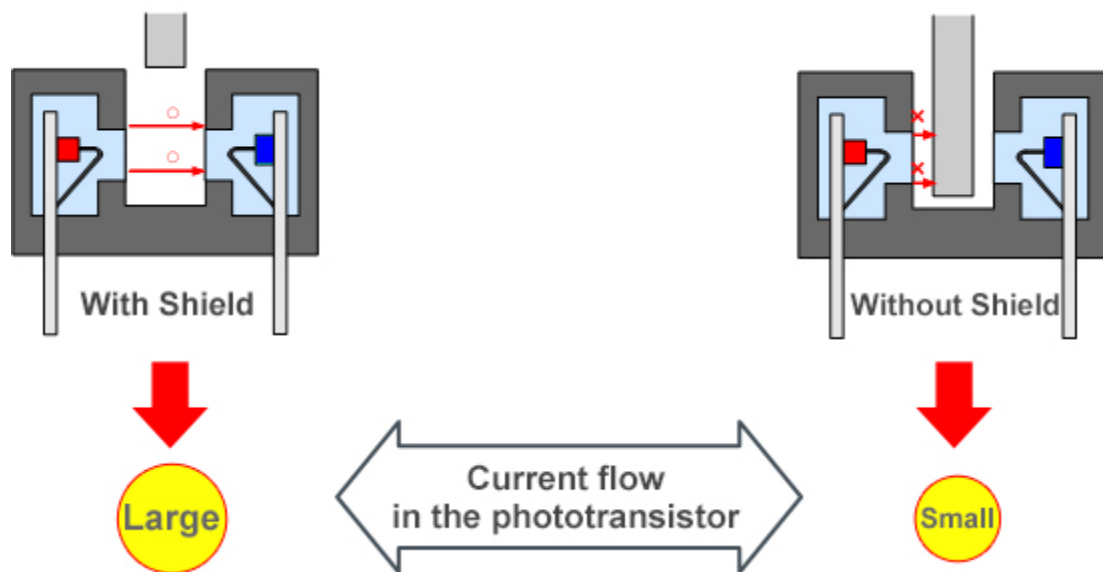
#### 2.4.4 Αισθητήριο PhotoInterrupter

Ο Photointerrupter είναι ένας φωτοαισθητήρας, ο οποίος τυπικά αποτελείται από στοιχεία εκπομπής φωτός και στοιχεία λήψης φωτός ευθυγραμμισμένα το ένα απέναντι από το άλλο σε ένα ενιαίο πακέτο, που λειτουργεί ανιχνεύοντας την διακοπή του φωτός όταν ένα αντικείμενο μπαίνει ανάμεσα στα δύο στοιχεία, ενεργώντας ως οπτικός διακόπτης. Σε αντίθεση με τους μηχανικούς διακόπτες, οι φωτοδιακόπτες είναι διακόπτες χωρίς επαφή (οπτικά), βελτιώνοντας την αξιοπιστία αποτρέποντας τη φθορά λόγω τριβής (επαφή).[14]



Σχήμα 2.21 Photointerrupter

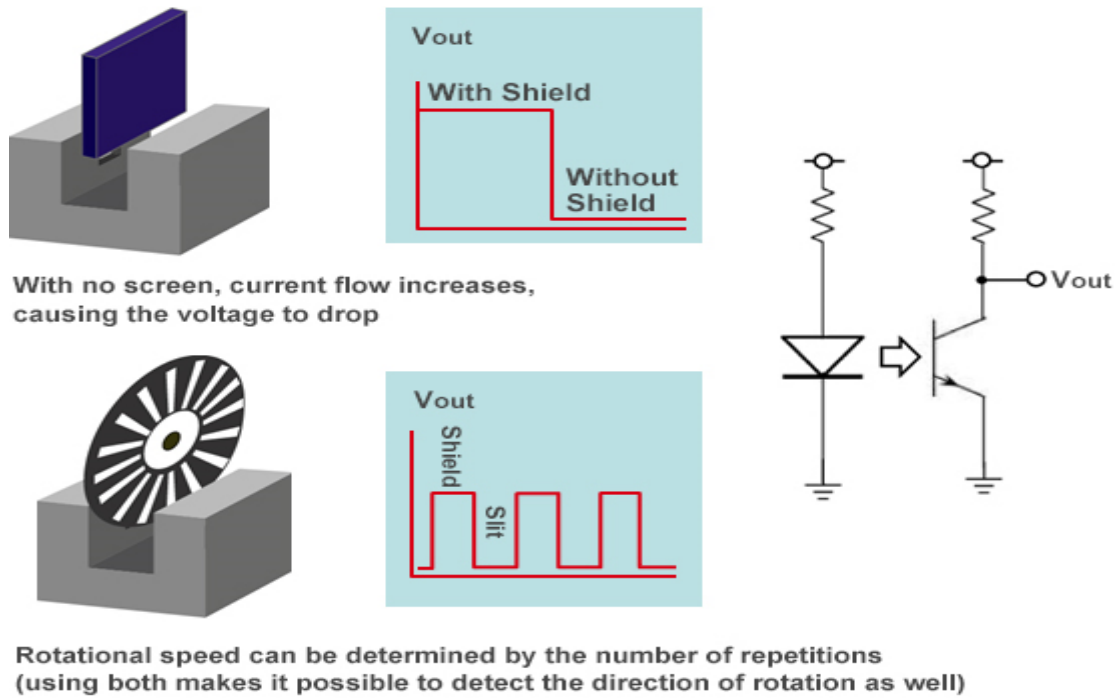
Το ρεύμα ρέει στο LED, με αποτέλεσμα να ανάβει. Αυτό το φως εισέρχεται στο φωτοτρανζίστορ, με αποτέλεσμα τη ροή ρεύματος. Η ανίχνευση αντικειμένων ενεργοποιείται ανιχνεύοντας την αλλαγή στο ρεύμα του τρανζίστορ λόγω της παρουσίας/απουσίας αντικειμένου.[14]



Σχήμα 2.22 τρόπος λειτουργίας ενός φωτοαισθητήρα.

Ο φωτοαισθητήρας όταν βρίσκεται σε ελεύθερη κατάσταση (δίχως εμπόδιο) έχει έξοδο 5V την στιγμή που το εμπόδιο διακόπτει την οπτική επαφή η κατάσταση εξόδου αλλάζει φτάνοντας πολύ κοντά στα 0V. Αυτή την λειτουργία την εκμεταλλευόμαστε συνδέοντας στο pin2 του Arduino την έξοδο του αισθητήρα. Αλλάζοντας κατάσταση εξόδου καταφέρουμε μέσω της γραμμής του παρακάτω κώδικα να μετρήσουμε τα interrupts.

```
void flow () // Interrupt function
{
    flow_frequency++;
}
```



Σχήμα 2.23 Αλλαγή εξόδου με το πέρασμα ενός αντικειμένου

#### 2.4.5 Προπέλα και Άξονας περιστροφής

Η προπέλα μας είναι τρίπτερη και είναι της εταιρίας Graupner. Είναι ενισχυμένη με ίνες γυαλιού. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή έχει ιδιαίτερα άκαμπτα πτερύγια που δεν παραμορφώνονται υπό φορτίο. Η διάμετρος της είναι 55mm και το βήμα της 29mm. Η φορά περιστροφής είναι δεξιόστροφη. Στο κέντρο της διαθέτει μια τρύπα ώστε να υποδεχθεί βιδωτά ένα άξονα M4 [21].



Σχήμα 2.24 προπέλα 55mm

Ο άξονας ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί έχει μήκος 210mm. Η εξωτερική του μεριά αποτελείται από μπρούτζινο σωλήνα η οποία παραμένει σταθερή. Στο εσωτερικό περιέχει ένα ανοξείδωτο άξονα καθώς προορίζεται για χρήση εντός του νερού. Ο εσωτερικός άξονας με τον μπρούτζινο σωλήνα συνδέονται μέσω μίας βίδας στην πίσω μεριά μέσω της οποίας μπορούμε να ελέγξουμε την ευκολία περιστροφής του. Στην μπροστινή μεριά υπάρχει μια φλάντζα η οποία βοηθάει στην αδιαβροχοποίηση του άξονα. Με λίγα λόγια το εσωτερικό του άξονα έχει την δυνατότητα να περιστρέφεται διατηρώντας το εξωτερικό του μέρος σταθερό [22]



Σχήμα 2.25 άξονας περιστροφής



Σχήμα 2.26 υλικά άξονα

#### 2.4.6 Σωλήνα PVC και κουτί

Ως τρόπο σύνδεσης όλων των παραπάνω υλικών χρησιμοποιήσαμε σωλήνα PVC ενός μέτρου (1m) Φ40 (4cm διάμετρο) καθώς και ένα ΤΑΦ Φ40 στο οποίο στις άκρες του τοποθετήσαμε δύο τάπες με βιδωτά καπάκια. Τα καπάκια είναι βιδωτά για πρακτικούς λόγους, πχ σε περίπτωση βλάβης να καθίσταται δυνατή η πρόσβαση στο εσωτερικό του.



Σχήμα 2.27 Ταφ Φ40-τάπα

Στο επάνω μέρος τοποθετήσαμε ένα πλαστικό κουτί το οποίο περιέχει την LCD οθόνη, το Arduino uno και ένα κύκλωμα τροφοδοσίας. Το κύκλωμα τροφοδοσίας απαρτίζεται από τρία στοιχεία (επαναφορτιζόμενες μπαταρίες 18650) μπαταριών ιόντων λιθίου (3.7V σύνολο 11.7V) και ένα κύκλωμα προστασίας και φόρτισης (BMS). Επιπλέον υπάρχει ένα ενδεικτικό LED το οποίο σβήνει όταν το ροόμετρο μετράει την ταχύτητα. Στην πλαϊνή μεριά υπάρχει ένας διακόπτης τριών καταστάσεων power ON/OFF και charging mode.

## 2.8 Συναρμολόγηση

Αρχικά καταφέραμε να κολλήσουμε τις δύο τάπες στο ταφ, χρησιμοποιώντας ειδική κόλλα για PVC σωλήνες. Μετέπειτα δοκιμάσαμε εάν αυτό είναι αδιάβροχο τοποθετώντας το σε μία λεκάνη με νερό για περίπου 3 ώρες. Στη συνέχεια ανοίξαμε μία τρύπα στο κέντρο στο καπάκι της μπροστινής τάπας με μία αρίδα M6. Ενώ για την πλήρη σταθεροποίηση του στο πίσω μέρος τοποθετήσαμε ένα κομμάτι πλαστικό, και πάλι με μια τρύπα στο κέντρο, περνώντας τον άξονα από το κέντρο του. Στο πίσω μέρος του άξονα βάλαμε ένα κομμάτι πλαστικό χρησιμοποιώντας το ως εμπόδιο για το αισθητήριό μας. Το αισθητήριο κολλήθηκε στο πίσω και επάνω μέρος του ταφ μας. Στη συνέχεια κολλήθηκαν τα καλώδια τα οποία συνδέουν το αισθητήριο με το Arduino περνώντας τα μέσα από τον PVC σωλήνα μας. Αφού ενώσαμε τον σωλήνα με το ταφ ανοίξαμε μια τρύπα στο κάτω μέρος του κουτιού μας έτσι ώστε ο σωλήνας να τοποθετηθεί στο εσωτερικό του. Τέλος τοποθετήσαμε τα υπόλοιπα υλικά μέσα στο κουτί και βιδώσαμε την προπέλα στην αρχή του άξονα.



Σχήμα 2.28 Ροόμετρο

Ο τρόπος λειτουργίας της κατασκευής είναι απλός. Εκμεταλλευόμενοι την κίνηση της προπέλας λόγω της ροής του ποταμού καταφέραμε και μεταφέραμε την κίνηση της μέσω του άξονα στο πλαστικό κομμάτι στο πίσω μέρος του. Οι “διακοπές” που προκαλεί στο Photointerrupter αλλάζουν την κατάσταση της εξόδου του από 5V σε 0V. Συνδέοντας έτσι την έξοδο με το pin 2 του μικροελεγκτή μας και με την βοήθεια της γραμμής του κώδικα (`flow_frequency++;`) καταφέραμε και μετρήσαμε τα interrupts που έχουμε ανά δευτερόλεπτο. Για να ρυθμίσουμε την συσκευή μας ώστε να μετράει σωστά την ταχύτητα λοιπόν έπρεπε να βρούμε πόσα interrupts θα έχουμε για ταχύτητα 1m/s.

Αυτό που κάναμε λοιπόν είναι το εξής, είναι γνωστό ότι η σχέση η οποία μας δίνει την γραμμική ταχύτητα  $u$  είναι [23]:

$$u = \frac{s}{t} \quad (2.2)$$

Όπου  $s$  η απόσταση που έχει διανύσει το αντικείμενο σε m και  $t$  ο χρόνος που χρειάστηκε σε sec.

Βασιζόμενοι σε αυτή την σχέση θέσαμε δύο σημεία (A-B) κατά μήκος του ποταμού με την μεταξύ τους απόσταση 3m. Αφήσαμε ένα άδειο πλαστικό μπουκάλι λίγο πριν το σημείο A, μόλις το μπουκάλι έφτασε στο σημείο A αρχίσαμε να μετράμε τον χρόνο που θα χρειαστεί να κάνει έως ότου φτάσει στο σημείο B[23]. Επαναλάβαμε την διαδικασία ακόμα 3 φορές ( $t_1-t_4$ ). Για να βρούμε τον μέσο όρο από τους χρόνους τους προσθέσαμε μεταξύ τους και διαιρέσαμε το αποτέλεσμα με το 4.

- 1  $t_1 = 18.12$  sec
- 2  $t_2 = 19.01$  sec
- 3  $t_3 = 17.56$  sec
- 4  $t_4 = 17.80$  sec

$$\frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4} = \frac{72.5}{4} = 18.12 \text{sec}$$

Ο μέσος όρος λοιπόν είναι 18.12sec



Σχήμα 2.29 μέτρηση ταχύτητας με μπουκάλι

Σύμφωνα με την σχέση 2.2 έχουμε:

$$u1 = \frac{s}{t} = \frac{3}{18.12} = 0.16m/s$$

Η ταχύτητα αυτή είναι η ταχύτητα στην επιφάνεια και στο συγκεκριμένο σημείο του ποταμού.

Έτσι, τοποθετήσαμε τον μετρητή μας όσο πιο κοντά στην επιφάνεια του ποταμού (καθώς η προπέλα πρέπει να είναι πλήρως βυθισμένη για να περιστραφεί) και εμφανίζοντας στην οθόνη των αριθμό των interrupts (pulses), καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι για 0.16m/s η κατασκευή παράγει 8 interrupts.



Σχήμα 2.30 Μέτρηση interrupts για 0.16m/s

Κάναμε λοιπόν τις πράξεις για 1m/s

$$interrupts = \frac{8 * 1m/s}{0.16m/s} = 50$$

Τα interrupts για 1m/s βγαίνουν 50 . Για τον υπολογισμό της ταχύτητας χρησιμοποιήθηκε η εντολή `linear_speed=flow_frequency/50;` όπου `flow_frequency` είναι τα interrupts τα οποία μετράμε εκείνη τη στιγμή και διαιρώντας τα με το 50 υπολογίζουμε την ταχύτητα.

`lcd.print(linear_speed);` με αυτή την γραμμή του κώδικα εμφανίζουμε τα αποτελέσματα στην οθόνη μας.

Στην οθόνη στο επάνω μέρος εμφανίζεται η ταχύτητα του νερού και στο κάτω η παροχή Q. Η παροχή υπολογίζεται στιγμιαία σε λίτρα ανά δευτερόλεπτο από τον κώδικα με την σχέση 2.1:

$$Q = u * A * 1000 L/s$$

Όπου A το εμβαδόν της προπέλας το οποίο ισούται με:

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} = 0.00237m^2$$

Η παροχή υπολογίζεται στιγμιαία. Το νούμερο το οποίο εμφανίζεται στην οθόνη είναι τα λίτρα/second τα οποία διέρχονται από την προπέλα. Η ένδειξη της παροχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση ενός αγωγού Φ55 (ίδια διάμετρο με την προπέλα).



Σχήμα 2.31 Οθόνη κατά την μέτρηση ταχύτητας

### 2.9 Μετρήσεις

Οι μετρήσεις μας έγιναν στον ποταμό του Αγίου Νικολάου Ναούσης στις 16/08/2022 και ώρα 13:15. Παρακάτω προβάλλουμε τον πίνακα με τις μετρήσεις τις οποίες λάβαμε

Πίνακας 2.2 Χάρτης ταχύτητας νερού

βάθος					
10cm	0.18m/s	0.5m/s	0.3m/s	1.1m/s	0.20m/s
20cm	0.16m/s	0.52m/s	0.28m/s	1.08m/s	0.20m/s
40cm	0.12m/s	0.44m/s	0.22m/s	1m/s	0.16m/s
70cm	0.08m/s	0.32m/s	----	0.92m/s	0.14m/s
100cm	----	----	----	----	0.10m/s

Στην πρώτη στήλη αναφέρουμε το βάθος μέτρησης (από την επιφάνεια) ενώ ανά γραμμή εμφανίζουμε τις ταχύτητες σε διάφορα σημεία του ποταμού. Οι παύλες συμβολίζουν, το ότι το ποτάμι δεν έφτανε σε αυτό το βάθος

Όπως αναφέραμε και στην θεωρία η μεγαλύτερη ταχύτητα βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του ποταμού το οποίο επιβεβαιώσαμε και με την πράξη.

### 2.10 Υπολογισμός βήματος και Σφάλματος

Όπως αναφέραμε και στην ενότητα 2.8 τα interrupts για 1m/s είναι 50. Ο επόμενος ή ο προηγούμενος αριθμός των interrupts είναι 50+1 ή 50-1 αντίστοιχα. Έτσι προκύπτει ότι:

Για 50+1:

$$u_a = \frac{51}{50} = 1.02m/s$$

Και αντίστοιχα για 50 -1:

$$ub = \frac{49}{50} = 0.98m/s$$

Αφαιρούμε από το  $u_a$  το  $u=1 m/s$   $u_a - u = 0.02βήμα$  και  $u - ub = 0.02βήμα$ .

Όσον αφορά το σφάλμα, όπως είπαμε το πλαστικό το οποίο λειτουργεί ως διακόπτης ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη αποτελείται από δύο πτερύγια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ότι η μία διακοπή (interrupt) θα ισοδυναμεί με το 50% ενός κύκλου. Δηλαδή οι μονοί αριθμοί ισοδυναμούν με μισό κύκλο ενώ οι ζυγοί με έναν ολόκληρο (100%). Τα υπόλοιπα σημεία του κύκλου θεωρούνται “τυφλά”. Εάν κατά την περιστροφή του το πλαστικό σταματήσει πχ στο 60% του κύκλου αυτό θα μας εμφανίσει, τον κατώτερο αριθμό (από 50%-100%), το 50%. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε σφάλμα. Το μέγιστο σφάλμα μπορεί να επιτευχθεί στην περίπτωση που το πτερύγιο του “διακόπτη” βρεθεί είτε στο 90% είτε στο 40% του κύκλου. Στην πρώτη περίπτωση εμείς θα γνωρίζουμε ότι είμαστε στο 50% και στη δεύτερη ότι είμαστε στο 0% ή στο 100% του προηγούμενου κύκλου (εάν έχει κάνει 3 πλήρης κύκλους και 40% του τέταρτου, εμείς θα γνωρίζουμε ότι είμαστε στους 3 κύκλους).

Το μέγιστο σφάλμα λοιπόν μπορεί να υπολογιστεί:

$$\text{Σφάλμα} = \frac{\text{πραγματική ένδειξη} - \text{ψευδή ένδειξη}}{\text{ψευδή ένδειξη}}$$

Για 1m/s έχουμε:

$$\text{Σφάλμα} = \frac{50.8 - 50}{50} = 0.016 = 1.6\%$$

Ενώ για 0.16 m/s :

$$\text{σφάλμα} = \frac{8.8 - 8}{8} = 0.1 = 10\%$$

Άρα το σφάλμα εξαρτάται από τον αριθμό των interrupts. Σε χαμηλό αριθμό το σφάλμα μπορεί να φτάσει 10% κάτι το οποίο δεν μας ενοχλεί λόγω των μικρών ταχυτήτων, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες το σφάλμα ελαττώνεται κατά πολύ (1.6% για 1m/s).

Επίσης σφάλμα υπάρχει και λόγω των τριβών της προπέλας και του άξονα κάτι το οποίο δεν μπορεί να υπολογιστεί.

Λόγω του ότι η ένδειξη θα είναι πάντα προς τον μικρότερο αριθμό, το σφάλμα θα είναι πάντα μείον.

## 2.11 Επίλογος

Η μελέτη της κίνησης των ρευστών αποτελεί βασική συνθήκη για την κατανόηση της ροής του ποταμού. Στις μέρες μας, με την βοήθεια διαφόρων ροόμετρων έχουμε καταφέρει να μετρήσουμε την ταχύτητα των ποταμών. Είναι ένα συμπαντικό επίτευγμα καθώς η ταχύτητα παίζει καθοριστικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως είδαμε η κατασκευή τους μπορεί να φαίνεται πολύ απλή αλλά στην πραγματικότητα υπάρχουν πολλές λεπτομέρειες τις οποίες πρέπει να προσέξει κανείς. Επειδή έχουμε να κάνουμε με ρευστά σε συνδυασμό με ηλεκτρικά μέρη, η στεγανοποίηση ολόκληρη της κατασκευής αποτελεί την πιο βασική αλλά ταυτόχρονα και την πιο δύσκολη προϋπόθεση.

## Κεφάλαιο 3ο: ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 3.1 Εισαγωγή

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια φιλική προς το περιβάλλον και αξιόπιστη μορφή ενέργειας που βασίζεται στη χρήση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού της λίμνης και της κινητικής ενέργειας του νερού του ποταμού. Σε πρώτο στάδιο, αυτή η διαδικασία μετασχηματισμού λαμβάνει χώρα με τη βοήθεια μιας πτερωτής στροβίλου, η οποία μετατρέπει την κινητική ενέργεια του νερού σε μηχανική ενέργεια με τη μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής. Στο δεύτερο στάδιο, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται μετατρέποντας τη μηχανική ενέργεια της γεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το σύνολο των έργων και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για να γίνει αυτή η διαδικασία ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ). Η συλλογή/αποθήκευση της ποσότητας νερού σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες για έναν υδροηλεκτρικό σταθμό ισοδυναμεί με αποταμίευση Υ/Ε. Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η Υ/Ε καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας[3]. Χωρίζουμε τους Υδροηλεκτρικούς Σταθμούς με βάση:

- Το ύψος πτώσης των υδάτων.
- Τη διαθεσιμότητα της ηλεκτροπαραγωγού μονάδας.
- Το είδος κατασκευής της υδροηλεκτρικής μονάδας.
- Την ισχύ που μπορούν να παράγουν.

### 3.2 Αρχές υδροηλεκτρικής ενέργειας

Η θεωρητική ισχύς που μπορεί να παραδοθεί από ένα Υ/Η έργο, το οποίο χρησιμοποιεί το νερό στο μέγιστο των δυνατοτήτων του χωρίς απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε ηλεκτρική:

$$P_0 = \gamma * Q * H \quad (3.1)$$

όπου  $\gamma$  το ειδικό βάρος του νερού (9.81 kN/m<sup>3</sup>),  $Q$  η παροχή που διέρχεται από τους στροβίλους, και η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού ανάντη,  $z_A$ , και ενός χαρακτηριστικού ενεργειακού υψομέτρου κατόντη [3].

Η πραγματική ισχύς, για χρονικά μεταβαλλόμενη στάθμη,  $z_A$ , και παροχή,

$$Q: P(t) = \eta(t) \gamma Q(t) H_n(t) \quad (3.2)$$

όπου  $\eta$  ο βαθμός απόδοσης της μονάδας παραγωγής και  $H_n$  το καθαρό ύψος πτώσης, που είναι συναρτήσεις των μεταβλητών  $z_A$  και  $Q$ .

Η διαφορά  $H - H_n$  εκφράζει τις υδραυλικές απώλειες κατά τη μεταφορά του νερού, ενώ η ποσότητα  $(1 - \eta) \gamma Q H_n$  εκφράζει τις απώλειες κατά τη μετατροπή της ενέργειας που αποδίδεται στον υδροστροβίλο (κινητική ενέργεια, πίεση) σε ηλεκτρική ενέργεια[3].

$$\text{Παραγόμενη ενέργεια: } E(t) = \int P(t) dt = \gamma \int \eta[z_A(t), Q(t)] Q(t) H_n[z_A(t), Q(t)] dt \quad (3.3)$$

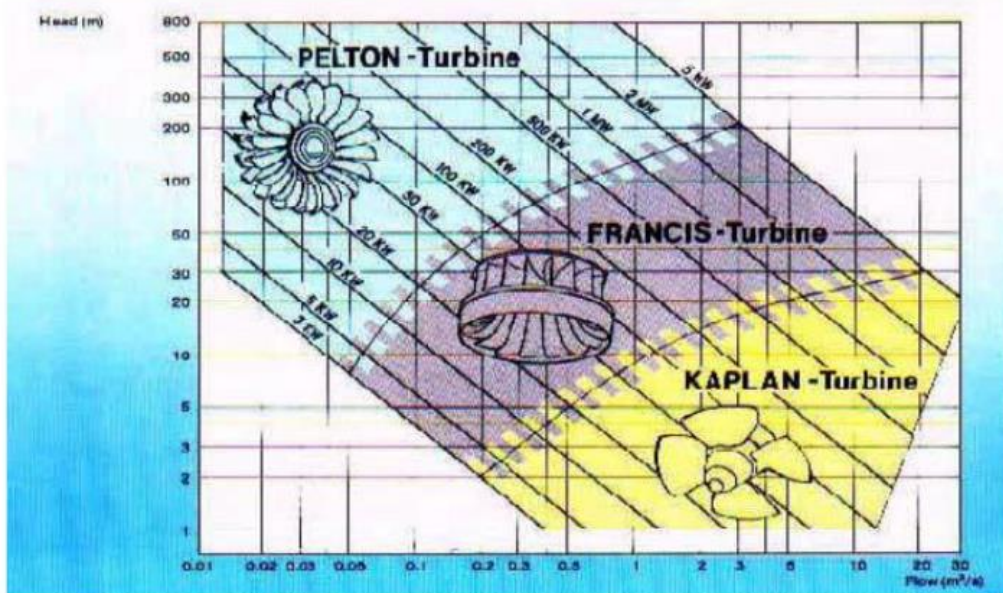
Παραγόμενη ενέργεια, υποθέτοντας σταθερά  $\eta$  και  $H_n$ :

$$E = \eta \gamma H_n \int Q(t) dt = \eta \gamma V H_n \quad (3.4)$$

### 3.3 Υδροστρόβιλοι

Υδροστρόβιλος ονομάζεται μια μηχανή που μετατρέπει την ενέργεια ενός ρευστού (νερού) σε μηχανική ενέργεια μέσω της συνεχούς ροής του ρευστού και της συνεχούς περιστροφικής κίνησης του άξονα του στρόβιλου. Η μετατροπή (μέρους) της ενέργειας του ρέοντος ρευστού σε μηχανική ενέργεια λαμβάνει χώρα στο περιστρεφόμενο τμήμα της μηχανής, που ονομάζεται ρότορας, με την ανάπτυξη της κινητήριας ροπής σε αυτό. Η άτρακτος του ρότορα συνδέεται με την άτρακτο της ηλεκτρικής γεννήτριας, μέσω της οποίας η μηχανική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, δηλ. Με τη μορφή ενέργειας που μεταφέρεται εύκολα στον τόπο κατανάλωσης της. [4]

Η επιλογή του καταλληλότερου στρόβιλου για μια συγκεκριμένη εφαρμογή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος όπως η απαιτούμενη ροή  $Q$ , η διαθέσιμη κεφαλή  $H$ , η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας,  $\omega$ , που θα χρησιμοποιηθεί και η ανάγκη διατήρησης υψηλής απόδοσης του στρόβιλου. Η λειτουργία κάθε στρόβιλου περιγράφεται από τα χαρακτηριστικά ταχύτητας ισχύος και ταχύτητας απόδοσης. Για μια δεδομένη κεφαλή, ο στρόβιλος λειτουργεί πιο αποτελεσματικά σε μια συγκεκριμένη περιοχή ταχύτητας και ροής. Οι υδροστρόβιλοι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με βάση το υδραυλικό ύψος στο οποίο λειτουργούν πιο αποτελεσματικά (χαμηλό, μεσαίο, υψηλό).

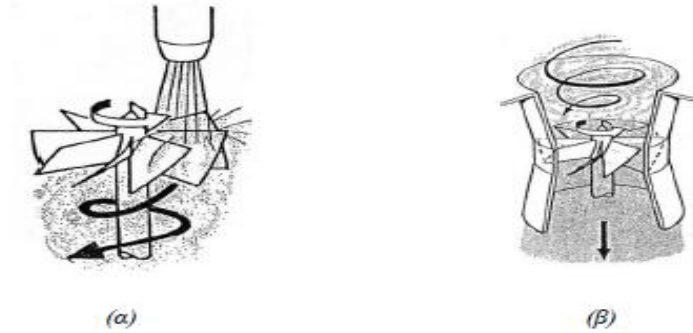


Σχήμα 3.1 Διάγραμμα λειτουργίας υδροστρόβιλων

Χωρίζονται επίσης σε δύο κατηγορίες με βάση την αρχή λειτουργίας τους: στρόβιλοι δράσης και στρόβιλοι αντίδρασης. Οι υδροστρόβιλοι δράσης έχουν μερική προσβολή, όπου μόνο μέρος του δρομέα εμπλέκεται στη μετατροπή ενέργειας. Οι υδροστρόβιλοι αντίδρασης έχουν ολική προσβολή, όπου ολόκληρος ο ρότορας εμπλέκεται στη μετατροπή ενέργειας. ολόκληρος ο ρότορας λειτουργεί. αξονικά συμμετρικά όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2. [5]

Μια τελευταία κατηγοριοποίηση των υδροστρόβιλων βασίζεται στη ροή του νερού. Επομένως, οι υδροστρόβιλοι χωρίζονται σε: αξονικούς, ακτινωτούς και μικτές. Οι υδροστρόβιλοι αξονικής ροής χρησιμοποιούν νερό που οδηγείται παράλληλα με τον άξονα του στρόβιλου προκειμένου να

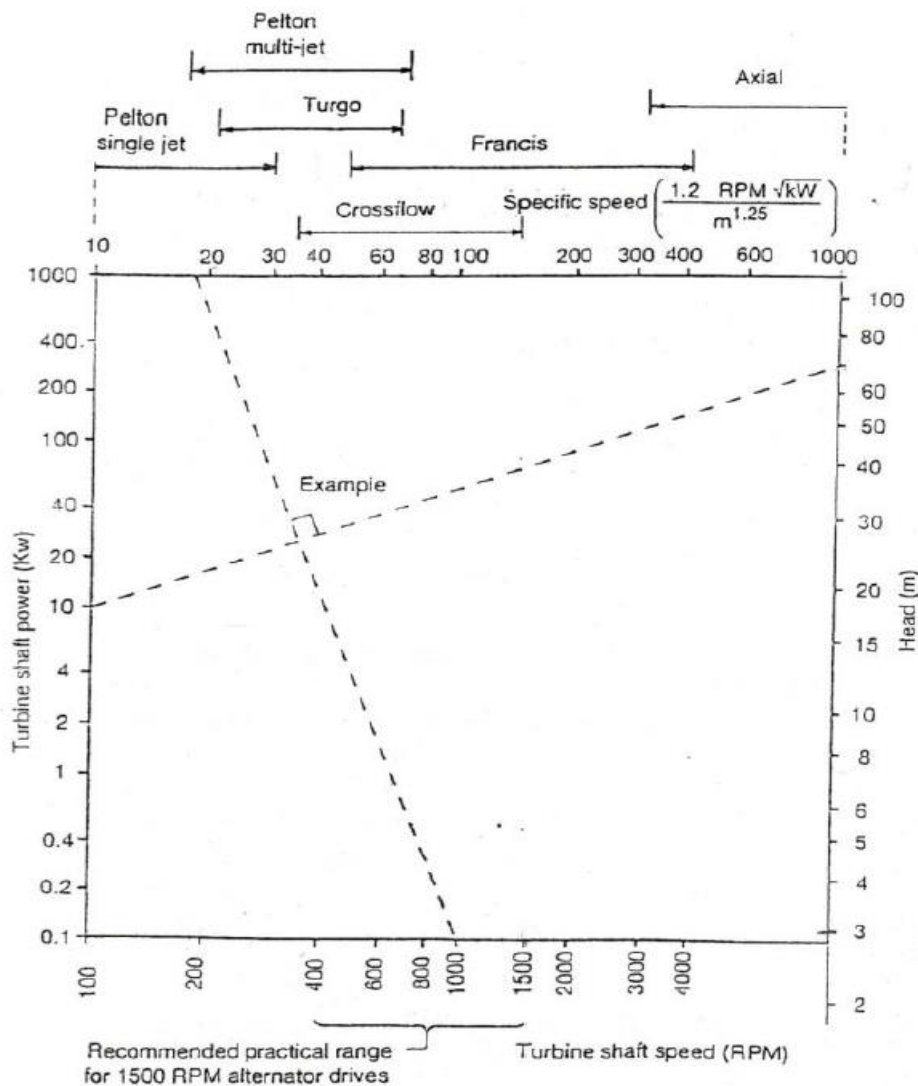
δημιουργηθεί μια κυκλοφορία που είναι παράλληλη με τη μηχανή. Στους ακτινωτούς στρόβιλους, το νερό τροφοδοτείται με ακτινική κατεύθυνση, δηλαδή κάθετα στον άξονά τους.[6]



Σχήμα 3.2 α) υδροστρόβιλος δράσεως β) υδροστρόβιλος αντιδράσεως

	Μεγάλο Υδρ. Ύψος	Μεσαίο Υδρ. Ύψος	Μικρό Υδρ. Ύψος
Στρόβιλοι Δράσεως	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Pelton</li> <li>•Turgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cross-Flow (ή Banki)</li> <li>•Pelton Πολλαπλών Δέσμεων Υγρού</li> <li>•Turgo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cross-Flow (ή Banki)</li> </ul>
Στρόβιλοι Αντιδράσεως	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Francis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Αξονικής Ροής</li> <li>•Βολβοειδής</li> <li>•Kaplan</li> </ul>

Σχήμα 3.3 Πίνακας επιλογής κατάλληλου υδροστρόβιλου βάση του ύψους



Σχήμα 3.4 διάγραμμα για την επιλογή κατάλληλου υδροστροβίλου βάσει των rpm

### 3.4 Floating Wheels

Οι πλωτοί μύλοι καταγράφηκαν για πρώτη φορά στη Ρώμη το 540μ.Χ. όταν ο Βελισάριος τα έχτισε κατά τη διάρκεια της Βιβής πολιορκία της Ρώμης. Συνήθως αποτελούνταν από μια βάρκα μύλου, που περιέχει τα μηχανήματα του, και έναν τροχό νερού που συνήθως υποστηρίζεται από ένα σκάφος καθώς και ένα επιπλέον πλωτήρα στο άλλη πλευρά. Μερικές φορές, κατασκευάζονταν πλωτοί μύλοι με δύο συμμετρικά, συχνά με κωνικά τόξα για να οδηγούν το νερό μέσα στο τροχό, ή με ένα κεντρικό σκάφος και δύο τροχούς κάθε πλευρά, κατά τον Reynolds (1981). Το Σχ.3.5 (a) δείχνει ένα σχέδιο ενός τυπικού πλωτού μύλου του 18ου αιώνα. Από τον Μεσαίωνα και μετά, πλωτοί μύλοι κατασκευάστηκαν στην Ευρώπη και στην Κολωνία/Γερμανία, υπήρχαν 17 πλωτοί μύλοι σε λειτουργία μέχρι και πριν 1856. Οι μύλοι ήταν δεμένοι σε μια γέφυρα και διατεταγμένα σε μια σειρά στον ποταμό Έλβα. Οι μύλοι σταμάτησαν τη λειτουργία τους μόλις το 1911. Πλωτοί μύλοι εγκαταστάθηκαν συχνά σε περιοχές ταχείας ροής, με ταχύτητες ροής έως 3,2 m/s, σύμφωνα με τον Müller (1939) [10].

Οι κύριοι λόγοι εξαφάνισής τους ήταν η σχετικά χαμηλή ισχύς εξόδου, και η παρέμβαση τους σε ναυτιλιακά θέματα.



Σχήμα 3.5 διάφοροι πλωτοί μύλοι

Σήμερα υπάρχουν πλωτοί μύλοι που κατασκευάζονται πολύ περιστασιακά είτε ως αντίγραφα ιστορικών μύλων ή για να παράγουν υδροηλεκτρική ενέργεια από το ρεύμα του ποταμού. Η ευχή για την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει οδηγήσει σε ένα ανανεωμένο ενδιαφέρον για αυτήν την αρχαία τεχνολογία, αφού οι πλωτοί μύλοι έχουν μια σειρά από πρακτικά πλεονεκτήματα όπως η εύκολη κατασκευή και σε συνέχεια το χαμηλό κόστος, αυτόματη προσαρμογή στη στάθμη του νερού και σταθερή παραγωγή ενέργειας. Για πολύ λίγα έργα ωστόσο, υπάρχουν πραγματικές πληροφορίες μηχανικής ανάλυσης [9]. Αν και η ενέργεια που υπάρχει στα υδάτινα ρεύματα των τυπικών ταχυτήτων στα ποτάμια είναι συγκριτικά μικρή, πλωτοί τροχοί νερού έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν μια απλή τεχνολογία για αποκεντρωμένη ηλεκτροπαραγωγή σε μικρά και μεγάλα ποτάμια π.χ. Για εφαρμογή στις αναπτυσσόμενες χώρες [10].

### 3.4.1 Κινητική και μηχανική ισχύς

Η κινητική ισχύς  $P_{kin}$  ενός ρευστού πάνω σε μία επιφάνεια με εμβαδόν  $A$  μπορεί να προσδιοριστεί ως συνάρτηση της ταχύτητας ροής  $v_0$ :

$$P_{kin} = \frac{A \cdot \rho \cdot v_0^3}{2} \quad (3.5)$$

Όπου  $A$  είναι το εμβαδόν της επιφάνειας το οποίο είναι βυθισμένο στο νερό,  $v_0$  είναι η ταχύτητα του νερού και  $\rho$  είναι το ειδικό βάρος του νερού το οποίο ισούται με  $1000 \text{ kg/m}^3$  [9] [10].

### Κεφάλαιο 3

Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να υπολογίσουμε την μηχανική ισχύ που παράγεται από την ρόδα P η οποία ισούται με το γινόμενο της  $P_{kin}$  και του συντελεστή απόδοσης ισχύος  $C_p$

$$P = P_{kin} * C_p = A * C_p * \frac{\rho}{2} * v_0^3 \quad (3.6)$$

Όπου A είναι το εμβαδόν του πτερυγίου το οποίο είναι βυθισμένο στο νερό και  $C_p$  ο συντελεστής απόδοσης ισχύος του πλωτού μύλου ο οποίος κυμαίνεται από 0.2-0.4 (για επίπεδες επιφάνειες)[9].

Αφού η κινητική ισχύς είναι συνάρτηση της ταχύτητας στην τρίτη, αυξάνεται τόσο σημαντικά όσο αυξάνεται το  $v_0$ . Σε πραγματικούς όρους, ωστόσο, τυπικές ταχύτητες ροής στα ποτάμια κυμαίνονται από 1 έως 3 m/s έτσι ώστε η κινητική ισχύς για ένα τετραγωνικό μέτρο να κυμαίνεται από 0,5 έως 13,5 kW/m<sup>2</sup>. Οι πυκνότητες ισχύος είναι επομένως αρκετά χαμηλά. Η θεωρία των πλωτών μύλων υποθέτει ότι οι λεπίδες είναι πλήρως βυθισμένες, απείρως μακριές ορθογώνιες πλάκες με συντελεστή απόδοσης ισχύος  $C_p = 2$ , με περιοχή λεπίδας A, ταχύτητα ροής  $v_0$  και μια ταχύτητα λεπίδας  $v_1$ . Η ισχύς που παράγεται P τότε μπορεί να περιγράψει ως:

$$P = A * C_p * \frac{\rho}{2} * (v_0 - v_1)^2 * v_1 \quad (3.7)$$

Όπου  $v_0$  η ταχύτητα του ποταμού και  $v_1$  η γραμμική ταχύτητα της ρόδας και  $C_p=2$  (για επίπεδες επιφάνειες) [9] [10].

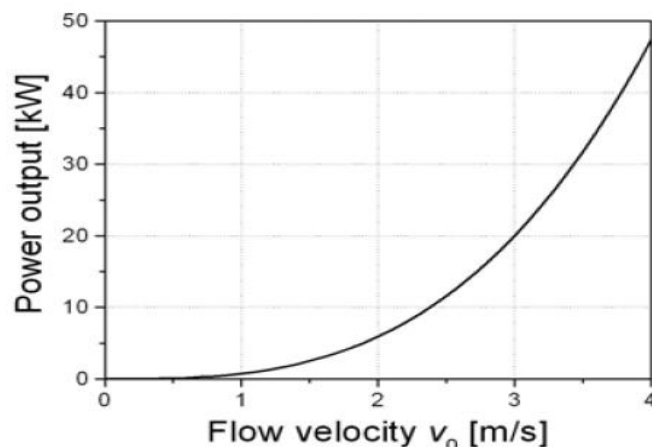
Οι σχέσεις 3.6 και 3.7 μας οδηγούν στο ίδιο ακριβώς αποτέλεσμα.

Η ηλεκτρική ισχύς μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$P_{ηλ} = P * η = A * C_p * \frac{\rho}{2} * v_0^3 * η \quad (3.8)$$

Όπου η η απόδοση της γεννήτριας.

Για ένα τυπικό εμβαδόν λεπίδας  $A = 0,5 \times 5 = 2,5 \text{ m}^2$ , η θεωρητική ισχύς δίνεται στο Σχ. 3.6 ως συνάρτηση της ταχύτητας. Το γράφημα δείχνει ότι για να επιτυγχάνουμε σημαντική ισχύ εξόδου, ταχύτητες ροής απαιτούνται 2 m/s και άνω[10].



Σχήμα 3.6 διάγραμμα ταχύτητας-ισχύος

### 3.4.2 Blockage Ratio (B.R.)

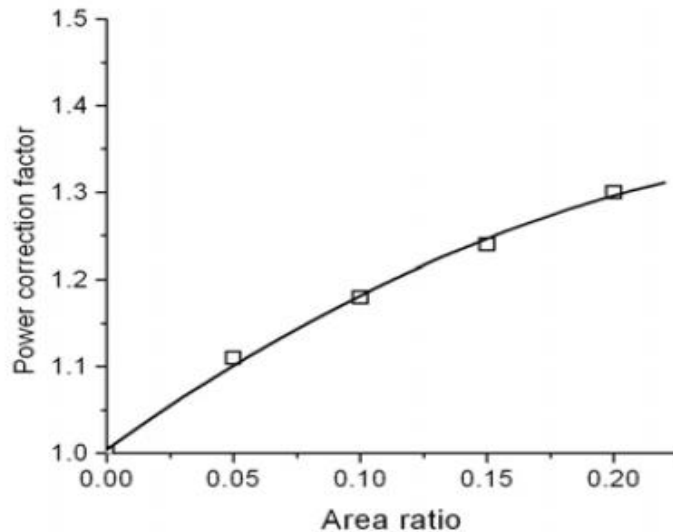
Προφανώς, στο νερό που ρέει η κινητική ενέργεια της ροής θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από έναν τροχό, αλλά, στην πραγματικότητα η απόδοση και η υδραυλική συμπεριφορά των τροχών εξαρτώνται και από το Blockage Ratio (αναλογία μπλοκαρίσματος).

Ο λόγος που ορίζει το Blockage Ratio

$$B.R. = \frac{A}{A_c} \quad (3.9)$$

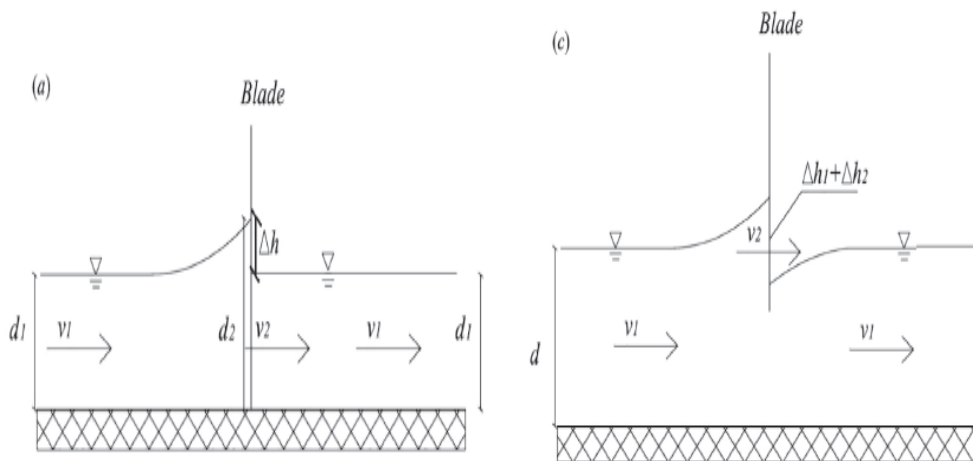
όπου  $A$  είναι η βυθισμένη περιοχή της λεπίδας και  $A_c$  είναι η διατομή καναλιού-ποταμού.

Σε χαμηλό B.R. η παρουσία του τροχού ουσιαστικά δεν τροποποιεί το πεδίο ροής μέσα στο κανάλι, εκτός από πολύ κοντά στον τροχό, λόγω της διαδικασίας εισόδου και εξόδου της λεπίδας, και της αλληλεπίδρασης ρευστού-δομής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο τροχός μας να είναι φιλικός προς το υδάτινο οικοσύστημα χωρίς ουσιαστικά να το επηρεάζει. Όταν το B.R. αυξάνεται ένα υψηλότερο τμήμα της ροής αναγκάζεται να περάσει από τον τροχό, αυξάνοντας την ισχύ εξόδου. Για παράδειγμα, για  $B.R.=0.2$  η αύξηση της ισχύος εξόδου λόγω του φαινομένου μπλοκαρίσματος είναι 30%, ενώ για  $B.R. \leq 0.05$  η αύξηση της ισχύος εξόδου είναι μικρότερη από 10%. [10]



Σχήμα 3.7 Η επίδραση του B.R. στην ισχύ εξόδου.

Όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα στα αριστερά το B.R. φτάνει κοντά στο 1 ενώ στα δεξιά έχουμε πολύ μικρότερο B.R. Όπου  $v_1$  η ταχύτητα του ποταμού και  $v_2$  η ταχύτητα του πτερυγίου.



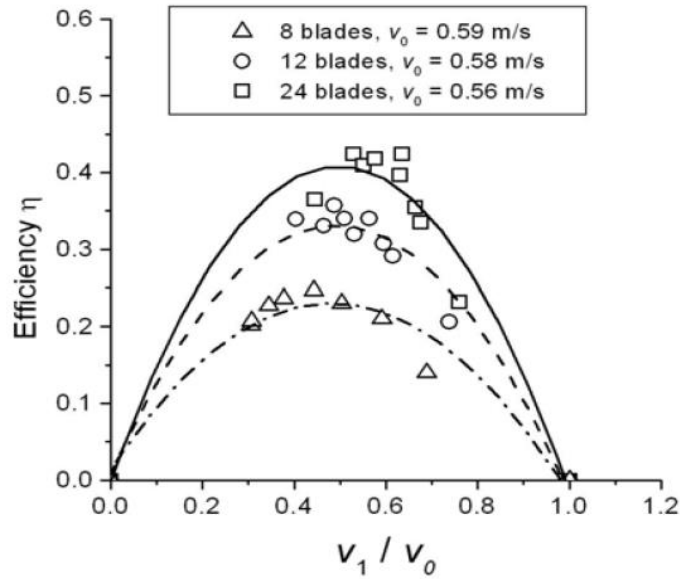
Σχήμα 3.8 α) τροχός σε ρηχό ποτάμι β) τροχός σε βαθύ ποτάμι

### 3.4.3 Συντελεστής απόδοσης ισχύος και αριθμός πτερυγίων

Δυο χαρακτηριστικά που καθορίζουν τον συντελεστή απόδοσης ισχύος, είναι ο λόγος της ταχύτητας της ρόδας προς αυτή του ποταμού και ο αριθμός των πτερυγίων.

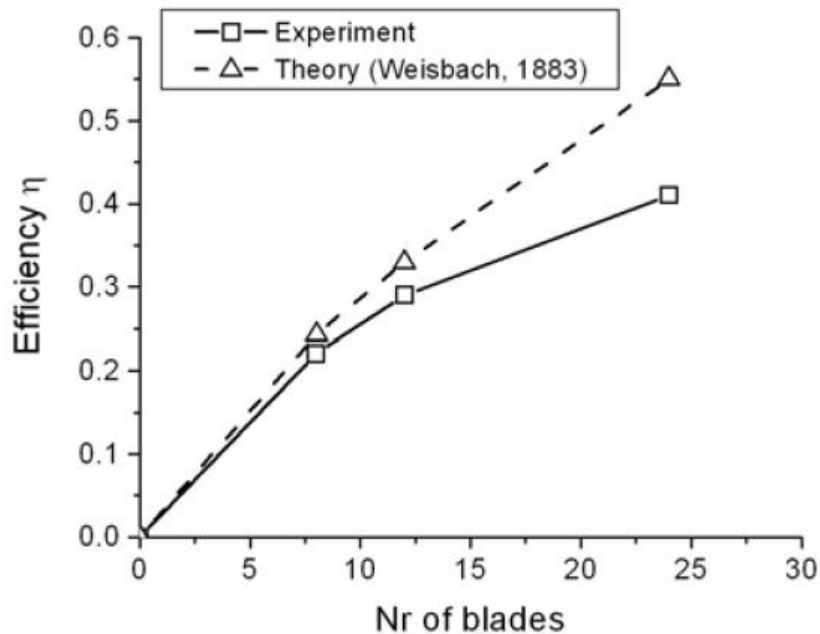
Κατά τον Müller et al. (2010), ένας πλωτός τροχός διαμέτρου 0,50 m, δοκιμάστηκε με λεπίδες πλάτους 0,25 m και μήκους 0,05 m. Το βάθος του νερού διατηρήθηκε σταθερό στα 0,215 m και οι ταχύτητες ροής κυμαίνονταν μεταξύ 0,2 έως 0,59 m/s. Το B.R. ήταν 0,2. Ο μέγιστος συντελεστής ισχύος ήταν  $C_p = 0,42$  για  $n = 24$ . Εάν οι απώλειες τριβής στον άξονα ήταν μηδενικές, πιθανώς ο μέγιστος συντελεστής ισχύος θα ήταν  $C_p = 0,5$  για  $v_1/v_0 = 0,5$ , όπως ανακάλυψε ο de Borda (Carpicchi, 2013). Αντίθετα, για

χαμηλότερους αριθμούς λεπίδων ( $n = 8$  και  $12$ ), ο μέγιστος συντελεστής ισχύος ήταν  $C_p = 0,25$  και  $C_p = 0,35$ , αντίστοιχα. Η αναλογία ταχύτητας ήταν  $v_1/v_0 = 0,4 - 0,55$ . Μια μικρή αύξηση της  $C_p$  φάνηκε δυνατή με τη χρήση ενός σχήματος  $U$  στα πτερύγια.[9]



Σχήμα 3.9 διάγραμμα ταχύτητας-απόδοσης [10]

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.9 η μέγιστη απόδοση ( $C_p = \max$ ) επιτυγχάνεται για  $\frac{v_1}{v_0} = 0.45 - 0.6$  με την μέγιστη τιμή για την απόδοση να φτάνει λίγο πάνω από το 40%.



Σχήμα 3.10 διάγραμμα αριθμός πτερυγίων-απόδοσης [10]

Στο σχήμα 3.10 βλέπουμε δύο καμπύλες, η μία συμβολίζει τις θεωρητικές τιμές ενώ η άλλη τις πειραματικές. Μέχρι τον αριθμό των 8 πτερυγίων φαίνεται πως η θεωρία με την πράξη συμβαδίζουν.

Όσο απομακρυνόμαστε από το 8 οι τιμές της πράξης θα λέγαμε ότι φτάνουν σε έναν “κορεσμό” καθώς η απόδοση φτάνει μέχρι το 40%.

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται οι διάφοροι τύποι τροχών, με το δικό τους μέγιστο συντελεστή απόδοσης ισχύος, καθώς και την ισχύ την οποία μπορούμε να παράξουμε.[9]

Πίνακας 3.1 κατανομή διαφόρων τύπων τροχών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Wheel type	Flow regime	Max. $\eta$ , $C_p$	kW/m	Speed	$\frac{n_{min}}{n}$
HPW	Sub. shallow	$\eta = 0.8-0.9, C_p = 0.4$	< 20	$\frac{v_2}{\sqrt{2g\Delta H}} = 0.20$	1
HPM	Sub. shallow	$\eta = 0.60-0.65$	> 10	$\frac{v_2}{\sqrt{2g\Delta H}} = (0.25-0.3)$	1
Kinetic wheel	Sup. shallow	$\eta = 0.4, C_p = 0.4$	10-13	$\frac{v_2}{v_1} = 0.3-0.55$	-
Floating wheel	Deep flow	$C_p = 0.4$	0.5-2	$\frac{v_2}{v_1} = 0.4-0.55$	$7.76 \frac{l}{D} - 0.31$
Floating HPW	Deep flow	$C_p = 0.7-0.8$	5	$\frac{v_2}{v_1} = 0.6-0.8$	1

Εστιάζοντας στην 4 γραμμή (floating wheel) μπορούμε να δούμε ότι ο συντελεστής απόδοσης ισχύος μπορεί να φτάσει μέγιστη τιμή 0.4 καθώς και ο λόγος της γραμμικής ταχύτητας της ρόδας προς την ταχύτητα του ποταμού κυμαίνεται 0.4-0.55. Η τελευταία στήλη του πίνακα 3.1 μας δείχνει την διάμετρο την οποία θα πρέπει να έχει ο τροχός μας ούτως ώστε να πετύχουμε την μέγιστη απόδοση.

$$\frac{n_{min}}{n} = 7.76 * \frac{l}{D} - 0.31 \quad (3.10)$$

Όπου l το ύψος του περυγίου και D η διάμετρος του τροχού.

Σύμφωνα με τον Muller, για να πετύχουμε την μέγιστη απόδοση ο λόγος  $\frac{n_{min}}{n}$  θα πρέπει να ισούται με 1. Έτσι  $7.76 * \frac{l}{D} - 0.31 = 1 =$  μέγιστη απόδοση.

### 3.4.4 Πείραμα Πανεπιστημίου Malang

Ο αριθμός των κατασκευών που έχουν γίνει για την μελέτη ενός πλωτού μύλου είναι αρκετά μικρός. Μια από αυτές έγινε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Κρατικό Πολυτεχνείο Malang, Malang, Ινδονησία.



Σχήμα 3.11 κατασκευή πανεπιστημίου Malang [12]

Η κατασκευή έγινε από αλουμίνιο και με διαστάσεις λεπίδας: 10cm ύψος και 50cm πλάτος με σύνολο 16 πτερυγίων. Με εμβαδόν  $A=10\text{cm}\cdot 50\text{cm}=0.05\text{m}^2$ .

Η εξωτερική διάμετρος του τροχού ήταν 50cm και οι θεωρητικές στροφές για 4m/s ταχύτητα ποταμού δίνονται στα 40rpm [12].

Τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας η οποία χρησιμοποιήθηκε φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

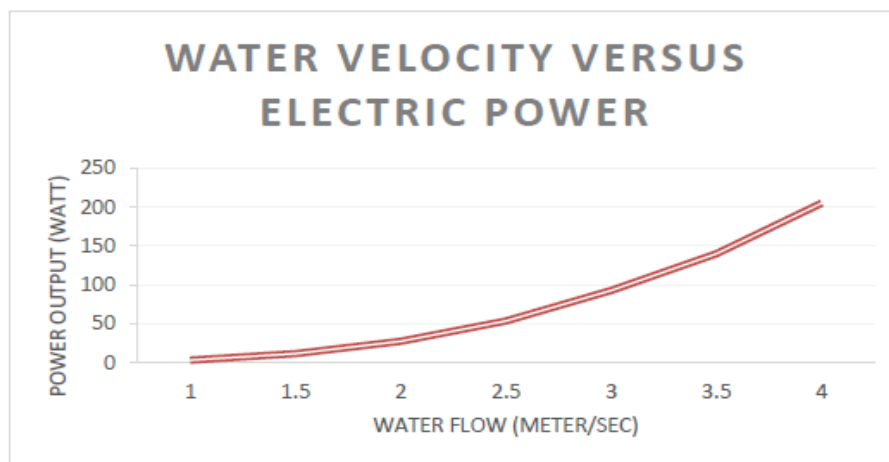
Πίνακας 3.4 χαρακτηριστικά γεννήτριας της κατασκευής που πανεπιστημίου Malang [12]

Specification	Unit
Length	10.5 cm
Diameter	8.5 cm
Type	Permanent magnet
Nominal speed	500 rpm
Weight	2.7 kg
Voltage	DC 12-18V
Current	15A

Στον πίνακα 3.3 και στο σχήμα 3.13 φαίνεται η ηλεκτρική ισχύς την οποία κατάφεραν να επιτύχουν.

Πίνακας 5 Ηλεκτρική ισχύς της κατασκευής [12]

Water flow (m/s)	Output power (Watt)
1	3
1.5	12
2	28
2.5	54
3	93
3.5	140
4	205



Σχήμα 3.12 διάγραμμα ηλεκτρικής ισχύς της κατασκευής [12]

Βασιζόμενοι λοιπόν στη σχέση 3.6  $P = P_{kin} * C_p = A * C_p * \frac{\rho}{2} * v_0^3$

Έχουμε  $\rho=1000\text{kg/m}^3$  και  $A=0.05\text{m}^2$

Εάν θεωρήσουμε το  $C_p=0.3$  για 16 πτερύγια τότε:

$$P_{ηλ} = \frac{\rho}{2} * A * C_p * v_0^3 * \eta$$

Όπου  $\eta$  η απόδοση της γεννήτριας. Εάν θεωρήσουμε ότι  $\eta=50\%$  και για  $v_0=2\text{m/s}$  έχουμε:

$$P_{ηλ} = \frac{\rho}{2} * A * C_p * v_0^3 * \eta = 500 * 0.05 * 0.3 * 2^3 * 0.5 = 30\text{Watt}$$

Σε σύγκριση λοιπόν με το πειραματικό τα 30W είναι πολύ κοντά στα 28W

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα λοιπόν, ότι οι σχέσεις 3.6 και 3.7 έχουν την δυνατότητα να μας αποδώσουν αποτελέσματα τα οποία φτάνουν πολύ κοντά με αυτά στην πράξη.

(Στην μελέτη του πανεπιστημίου δεν αναφέρεται το βάθος του ποταμού έτσι δεν μπορούμε να υπολογίσουμε το Blockage Ratio, θέτοντας το στο 0).

### 3.5 Επίλογος

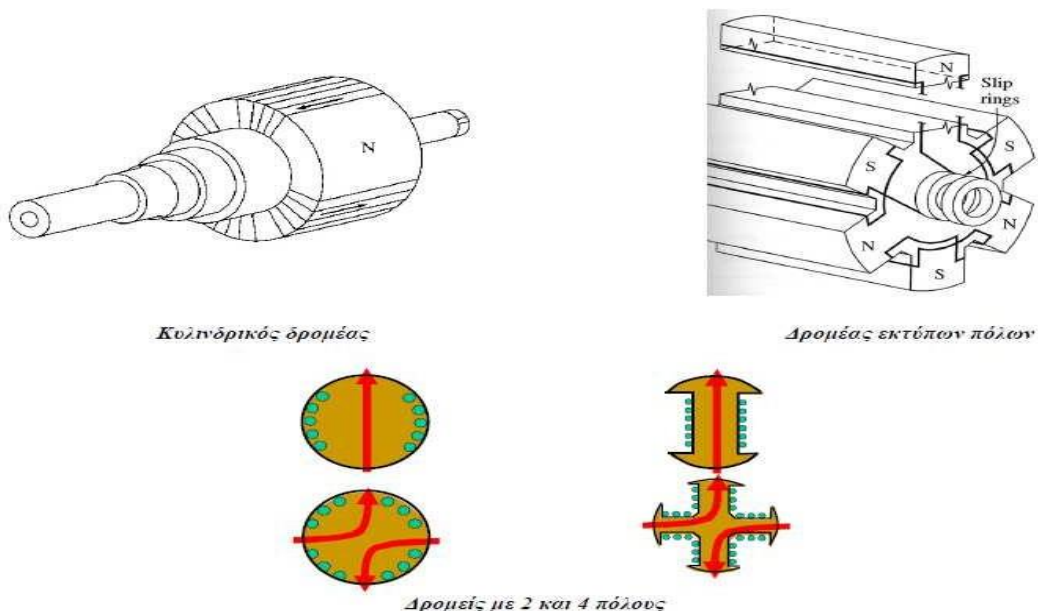
Για να καταφέρουμε να παράξουμε μεγάλα ποσά ενέργειας από ποτάμια θα πρέπει να καταφύγουμε σε κατασκευή ενός φράγματος και στην εγκατάσταση ενός ολόκληρου υδροηλεκτρικού έργου. Αυτό όμως είναι σχεδόν αδύνατο να γίνει σε μικρούς ποταμούς καθώς το κόστος κατασκευής και εγκατάστασης θα είναι αρκετά μεγάλο σε σχέση με την ενέργεια την οποία θα παράξουμε. Οι πλωτοί τροχοί λοιπόν, μπορεί να αποδίδουν μικρά ποσά ενέργειας αλλά αποτελούν μια εύκολη, οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον λύση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μικρά ποτάμια. Οι έρευνες που έχουν γίνει πάνω σε αυτούς είναι λίγες αλλά και πάλι έχουμε επαρκή στοιχεία ώστε να μπορέσουμε να επιτελέσουμε μια σωστή μελέτη για την κατασκευή ενός πλωτού τροχού. Οι σχέσεις οι οποίες μας δίνουν την μηχανική και μετέπειτα την ηλεκτρική ισχύ φτάνουν πολύ κοντά στην πράξη.

## Κεφάλαιο 4ο: Γεννήτριες

### 4.1 Εισαγωγή

Η σύγχρονη γεννήτρια είναι μια σύγχρονη μηχανή που έχει την ικανότητα να μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Για τη λειτουργία μιας σύγχρονης γεννήτριας, βασική προϋπόθεση είναι η τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος στα τυλίγματα του δρομέα. Ο δρομέας είναι ουσιαστικά ένας μεγάλος περιστρεφόμενος μαγνήτης με μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το συνεχές ρεύμα που τον διαρρέει. Με αυτόν τον τρόπο προκαλείται τριφασική τάση στην περιέλιξη του στάτη. Ο δρομέας μπορεί να είναι κυλινδρικός, με τους πόλους να συμπλέκονται με την υπόλοιπη επιφάνεια, ή έκτυπων πόλων, όπου οι πόλοι είναι διαφορετικοί. Οι κυλινδρικοί δρομείς έχουν αυλακώσεις όπου τοποθετούνται οι περιελίξεις και χρησιμοποιούνται κυρίως σε γεννήτριες με έως τέσσερις πόλους, ενώ στην περίπτωση των γεννητριών με περισσότερους πόλους, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται δρομείς έκτυπων πόλων. Το Σχήμα 4.1 δείχνει μια τα δύο είδη από τους από τους δρομείς,

Κάθε δρομέας μπορεί να τροφοδοτηθεί με συνεχές ρεύμα με δύο διαφορετικούς τρόπους. Με τον πρώτο τρόπο, η ισχύς λαμβάνεται από μια εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, που σημαίνει ότι οι ψήκτρες και τα δακτυλίδια συνδέονται με τον περιστρεφόμενο δρομέα. Με τον δεύτερο τρόπο, η ισχύς παρέχεται από μια πηγή συνεχούς ρεύματος που τοποθετείται στον άξονα του μηχανήματος. Στην πρώτη περίπτωση, το ένα άκρο της περιέλιξης του δρομέα συνδέεται με έναν από τους δύο δακτυλίους και το άλλο άκρο συνδέεται με τον δεύτερο δακτύλιο. Οι ψήκτρες τοποθετούνται σε επαφή με κάθε δακτύλιο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να συνδέσουμε το θετικό άκρο της πηγής σε μια ψήκτρα και το αρνητικό άκρο της πηγής με την άλλη ψήκτρα για να τροφοδοτείτε συνεχώς ο δρομέας. Υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα και στις δύο μεθόδους. Οι ψήκτρες στην πρώτη περίπτωση θα φθαρούν γρήγορα και οι διεγέρτες που χρησιμοποιούνται στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να αντικαθίστανται συχνά λόγω της απώλειας ισχύος που προκαλούν. Το κύκλωμα διέγερσης για αυτές τις μικρές γεννήτριες (διεγέρτες) εναλλασσόμενου ρεύματος τροφοδοτείται από τον στάτη της κύριας γεννήτριας. [18], [19],[26].



Σχήμα 4.1 Κυλινδρικός δρομέας και δρομέας έκτυπων πόλων με δύο και τέσσερις πόλους.

Υπάρχει η δυνατότητα πλήρους ανεξαρτητοποίησης της διαδικασίας τροφοδοσίας του δρομέα από οποιαδήποτε εξωτερική πηγή. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή μίας προδιεργεργτριας μηχανής, η οποία ουσιαστικά είναι μία μικρή γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος η οποία έχει μόνιμους μαγνήτες και εγκαθίσταται στον άξονα της σύγχρονης γεννήτριας. Με αυτό τον τρόπο η γεννήτρια δε χρειάζεται πλέον εξωτερική πηγή τροφοδοσίας. Όπως θα δούμε και στο Κεφάλαιο 5, η τροφοδοσία του δρομέα μπορεί να επιτευχθεί και με την σωστή εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών.

Εκτός από τον δρομέα, μία σύγχρονη γεννήτρια αποτελείται και από ένα άλλο κομμάτι το οποίο είναι γνωστό ως στάτης. Πρόκειται για ένα κοίλο κυλινδρικό εξάρτημα το οποίο είναι κατασκευασμένο από σιδηρομαγνητικό υλικό σε μορφή ελασμάτων. Στην εσωτερική του επιφάνεια υπάρχουν διαμήκεις αυλακώσεις οι οποίες χρησιμεύουν για την τοποθέτηση των τυλιγμάτων του στάτη[26].

#### 4.2 Ταχύτητα περιστροφής και παραγόμενη τάση στο εσωτερικό της

Οι σύγχρονες γεννήτριες ονομάζονται σύγχρονες, επειδή οι συχνότητες των τάσεων που παράγουν βρίσκονται συγχρονισμό με την ταχύτητα περιστροφής τους. Ο δρομέας των μηχανών αυτών είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης, του οποίου το πεδίο περιστρέφεται με φορά ίδια με αυτή του δρομέα. Η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου σχετίζεται με την ηλεκτρική συχνότητα του στάτη μέσω της σχέσης [19]:

$$f = \frac{N \cdot P}{120} \quad (4.1)$$

Όπου  $f$  η ηλεκτρική συχνότητα σε Hz,  $N$  η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου σε r/min (rpm) και  $P$  ο αριθμός των πόλων.

Επειδή η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα και η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου είναι ίδιες, η παραπάνω εξίσωση αποδίδει τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας με την οποία περιστρέφεται η μηχανή και της ηλεκτρικής της συχνότητας. Στην περίπτωση όμως που η εξίσωση (4.1) δεν επαληθεύεται η μηχανή αποσυγχρονίζεται πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει κίνδυνος βλαβών [26].

Η παραγόμενη τάση που επάγεται σε κάθε φάση μίας σύγχρονης μηχανής δίνεται από τη σχέση :

$$E = \sqrt{2} * \pi * N_c * \varphi * f \quad (4.2)$$

Όπου  $N_c$  τα τυλίγματα της κάθε συστάδας αγωγών,  $\varphi$  η μαγνητική ροή, και  $f$  η συχνότητα.

Η σχέση (4.1.2) μπορεί να γραφεί με πιο απλό τρόπο ως εξής :

$$E = K * \varphi * \omega \quad (4.3)$$

Και στις δύο περιπτώσεις αναφερόμαστε στην ενεργό τιμή της τάσης

Για να υπολογίσουμε το πλάτος της τάσης (peak τιμή) :

$$E_{max} = N_c * \varphi * \omega \quad (4.4)$$

Όπου  $\varphi$  είναι η μαγνητική ροή,  $\omega$  είναι η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής,  $K$  είναι μία σταθερά η οποία εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της μηχανής και δίνεται από τη σχέση :

$$K = \frac{Nc}{2} \quad (4.5)$$

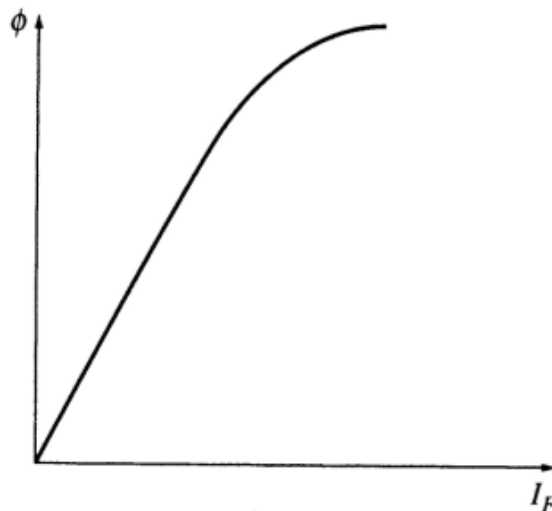
Αν η  $\omega$  δίνεται σε ηλεκτρικά rad/s

Ενώ, εάν, η  $\omega$  δίνεται σε μηχανικά rad/s τότε ισχύει:

$$K = \frac{Nc * P}{\sqrt{2}} \quad (4.6)$$

Όπου Nc οι σπείρες και P οι πόλοι.

Η τάση  $E_A$  είναι ανάλογη της μαγνητικής ροής η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από το ρεύμα διέγερσης  $I_F$ . Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η καμπύλη  $\phi - I_F$  η οποία ονομάζεται καμπύλη μαγνήτισης ή χαρακτηριστική ανοιχτού κυκλώματος. [18], [19]



Σχήμα 4.2 Καμπύλη μαγνήτισης ή χαρακτηριστική ανοιχτού κυκλώματος.

### 4.3 Ισχύς, Ροπή και απόδοση Σύγχρονης Γεννήτριας

Η εισερχόμενη ισχύς σε μία γεννήτρια είναι μηχανικής φύσης και δίνεται από τη σχέση :

$$P_{in} = t_{app} * \omega m \quad (4.7)$$

Όπου  $t_{app}$  η ροπή της μηχανής και  $\omega m$  η γωνιακή ταχύτητα σε μηχανικά rad/s.

Εξαιτίας των απωλειών κατά την περιστροφή η μηχανική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική είναι σαφώς μικρότερη και ισούται με :

$$P_{conv} = t_{ind} * \omega m = 3 * EA * IA * \cos\gamma \quad (4.8)$$

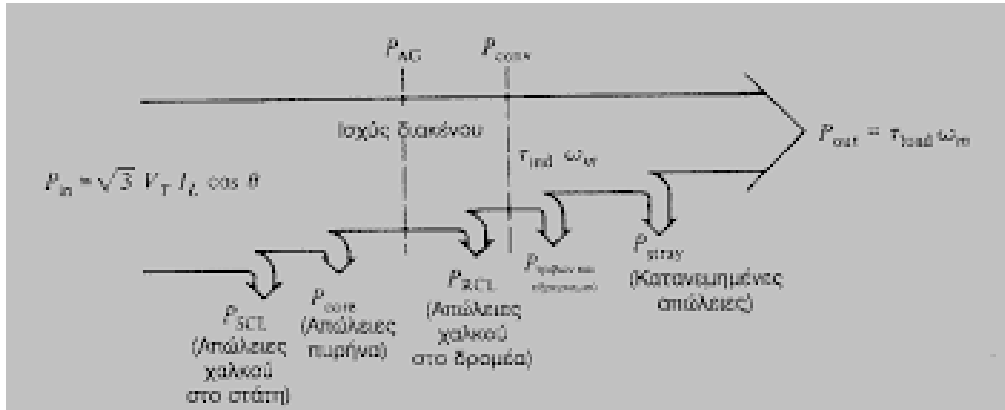
Όπου  $\gamma$  είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των EA και IA και  $t_{ind}$  η ροπή της μηχανής[19].

Η ενεργός ισχύς στην έξοδο της γεννήτριας σε πολικά μεγέθη δίνεται από την εξίσωση :

$$P_{out} = \sqrt{3} \cdot VT \cdot IL \cdot \cos\theta \quad (4.9)$$

Και σε φασικά μεγέθη από την εξίσωση :

$$P_{out} = 3 \cdot V\varphi \cdot I\mathcal{A} \cdot \cos\theta \quad (4.10)$$



Σχήμα 4.3 διάγραμμα ισχύος εισόδου και εξόδου της γεννήτριας

Η άεργος ισχύς της γεννήτριας σε πολικά μεγέθη δίνεται από την εξίσωση :

$$Q_{out} = \sqrt{3} \cdot VT \cdot IL \cdot \sin\theta \quad (4.11)$$

$$Q_{out} = 3 \cdot V\varphi \cdot I\mathcal{A} \cdot \sin\theta \quad (4.12)$$

Μια κατά προσέγγιση σχέση μεταξύ της ισχύος εξόδου μιας σύγχρονης γεννήτριας και της αντίστασης περιέλιξης του στάτη  $RA$  λαμβάνεται εάν η τιμή της αντίστασης περιέλιξης του στάτη αγνοηθεί σε περιπτώσεις όπου είναι πολύ μικρή. Σε αυτή την περίπτωση, από το διανυσματικό διάγραμμα της γεννήτριας προκύπτει ότι το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος  $\ell$  είναι ίσο με [19] :

$$\ell = E\mathcal{A} \cdot \sin\delta \quad (4.13)$$

όπως και :

$$\ell = X_s \cdot I\mathcal{A} \cdot \cos\theta \quad (4.14)$$

Άρα :

$$I \cdot \cos\theta = EA \cdot \sin\delta \cdot X_s \quad (4.15)$$

Αντικαθιστώντας στη σχέση (4.10) προκύπτει :

$$P = 3 \cdot V\varphi \cdot EA \cdot \sin\delta \cdot X_s \quad (4.16)$$

Η συνολική απόδοση  $\eta$  μιας σύγχρονης γεννήτριας δίνεται από την σχέση [19]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (4.17)$$

Όπου  $P_{out}$  είναι η ισχύς εξόδου και  $P_{in}$  η ισχύς εισόδου της γεννήτριας.

#### 4.4 Γεννήτριες σε υδροηλεκτρικά έργα

Μια γεννήτρια τροφοδοτεί το δίκτυο μας με φαινόμενη ισχύ

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (4.18)$$

Όπου S η φαινόμενη ισχύς, P ενεργός ισχύς και Q η άεργος ισχύς.

Η παραγωγή άεργου και ενεργού ισχύος ελέγχεται μέσω δύο εισόδων ελέγχου, οι οποίες είναι: 1) Το ρεύμα πεδίου του ρότορα 2) Η μηχανική ροπή στον άξονα της γεννήτριας Tm ενώ οι τέσσερις έξοδοι είναι: P, Q, V και f (όπου V η τάση εξόδου και f η συχνότητα)[11]. Σε μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα οι γεννήτριες οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι τριφασικές και η ισχύς εξόδου η οποία αναγράφεται στα χαρακτηριστικά της είναι η φαινόμενη ισχύς S με μονάδα μέτρησης VA. Ωστόσο, ενώ τα πρώτα μικρο-υδροηλεκτρικά συστήματα χρησιμοποιούσαν γεννήτριες DC για τη φόρτιση μπαταριών ή την τροφοδοσία μικρών συσκευών DC, η χρήση AC γεννήτριας είναι πλέον καθιερωμένη. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις του δικτύου που θα συνδεθεί, τη θέση που θα καταλάβει σε αυτό και τα φορτία που θα χρειαστεί να τροφοδοτήσει, η γεννήτρια που θα χρησιμοποιηθεί μπορεί να είναι σύγχρονη με περιελίξεις διέγερσης ή μόνιμου μαγνήτη. Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, πρέπει να είναι στιβαρή, να μπορεί να αντέχει τουλάχιστον 60% των υπερταχύνσεων [38]. Σε μικρά έργα οι γεννήτριες είναι μονοφασικές διότι τα ποσοστά ισχύος είναι μικρά. Σε αυτή την περίπτωση, δίνουμε μεγαλύτερη έμφαση στην ενεργό ισχύ P με μονάδα μέτρησης Watt. Η ηλεκτρική ισχύς την οποία μας δίνει η γεννήτρια εξαρτάται από την μηχανική ισχύ εισόδου και την απόδοσή της.

#### 4.5 Μελέτη γεννήτριας

Η συχνότητα εξόδου της γεννήτριας εξαρτάται άμεσα από τους πόλους οι οποίοι τοποθετούνται καθώς και τις στροφές του δρομέα. Για μικρά υδροηλεκτρικά έργα όπως το δικό μας επειδή οι στροφές είναι σχετικά λίγες (όπως εξηγήσαμε και στο Κεφάλαιο 5), για αυτό τον λόγο και οι γεννήτριες οι οποίες θα μπορούσαν να τοποθετηθούν αποτελούνται από μεγάλο αριθμό πόλων. Έτσι, το μεγαλύτερο ποσοστό γεννητριών έχουν δρομέα έκτυπων πόλων. Οι στροφές του δρομέα επίσης, όπως είναι γνωστό συνδέονται και με την γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ . Από την σχέση 4.4 μπορούμε να δούμε πως η αλλαγή της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα θα έχει ως αποτέλεσμα και την αλλαγή της τάσης Emax (peak) στο εσωτερικό της γεννήτριας και κατά συνέπεια και στη τάση στη έξοδο της.

Ένα χαρακτηριστικό των γεννητριών είναι η μαγνητική ροή  $\phi$ .

Η μαγνητική ροή δίνεται από την σχέση:

$$\phi = d * l * B \quad (4.19)$$

Όπου d η διάμετρος του στάτη της μηχανής, l το μήκος της κάθε συστάδας αγωγών (2 συστάδες σε περίπτωση μονοφασικής γεννήτριας) και B το πλάτος της μαγνητικής επαγωγής του πεδίου. Στις σύγχρονες γεννήτριες η μαγνητική επαγωγή κυμαίνεται από 0.1-0.5 T. Το μήκος l καθώς και την διάμετρο του στάτη μπορεί να την ορίσει ο ίδιος κατασκευαστής, ενώ εάν γνωρίζει και την μαγνητική επαγωγή B μπορεί πολύ εύκολα να υπολογίσει την μαγνητική ροή  $\phi$ .

Για να καταφέρει μία γεννήτρια να παράξει 230Vrms θα πρέπει η V peak να είναι στα 325V ( $V_{peak}/\sqrt{2}$ ). Έτσι, η μελέτη και ο σχεδιασμός μιας γεννήτριας (τυλίγματα, μήκος αγωγού κτλπ) γίνεται με βάση τα 325V peak. Σύμφωνα με την σχέση 4.4 τα τρία χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζουν την παραγόμενη τάση είναι τα τυλίγματα, γωνιακή ταχύτητα και η μαγνητική ροή. Τα τυλίγματα μπορούν

να υπολογιστούν για οποιαδήποτε react τάση θέλουμε να παράξουμε εφόσον γνωρίζουμε την γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  καθώς και την μαγνητική ροή.

Όπως θα δούμε και στο κεφάλαιο 5.6 γίνεται ένας υπολογισμός των στοιχείων της γεννήτριας για την συγκεκριμένη κατασκευή.

### 4.6 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφερθήκαμε στην λειτουργία μια σύγχρονης γεννήτριας. Συμπεράναμε ότι οι γεννήτριες έκτυπων πόλων είναι πιο κατάλληλες για μελέτη μίας γεννήτριας με αριθμό πόλων πάνω από τέσσερις. Οι πόλοι της γεννήτριας καθώς και οι στροφές του δρομέα αποτελούν τα πιο βασικά χαρακτηριστικά για τον υπολογισμό της συχνότητας λειτουργίας. Σημαντικό ρόλο για την παραγωγή της επιθυμητής τάσης παίζουν τα τυλίγματα του στάτη καθώς και η γωνιακή ταχύτητα  $\omega$  του δρομέα. Στο εσωτερικό μιας σύγχρονης μηχανής μπορούμε να έχουμε απώλειες γι' αυτό τον λόγο υπάρχει και η ένδειξη της απόδοσης της γεννήτριας. Η μελέτη και η κατασκευή μιας γεννήτριας μπορεί να είναι η ίδια για τα διάφορα υδροηλεκτρικά έργα ωστόσο, τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους διαφέρουν.

## Κεφάλαιο 5ο: Μελέτη πλωτού τροχού για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας

### 5.1 Εισαγωγή

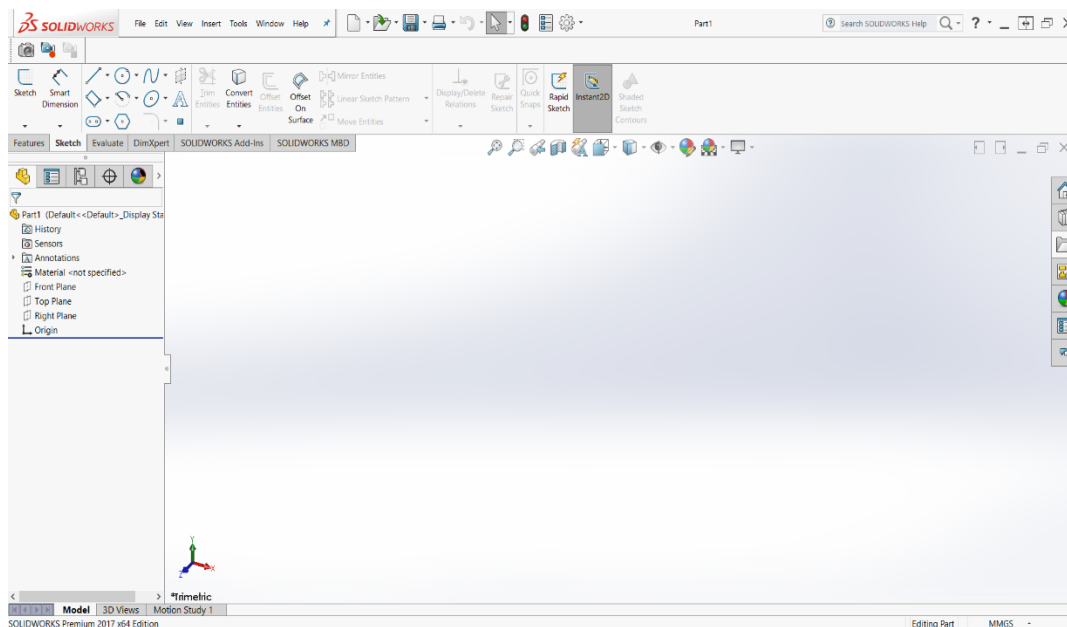
Σε αυτό το κεφαλαίο αναφερόμαστε στην κατασκευή ενός πλωτού τροχού με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μικρά ποτάμια. Η μελέτη αυτή γίνεται με βάση τα παρακάτω στοιχεία καθώς μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε ποταμού καθώς και τις ανάγκες της απαιτούμενης ισχύος. Με την βοήθεια του προγράμματος Solidworks καταφέραμε και προσομοιώσαμε όλη τη κατασκευή.

Η παρακάτω μελέτη αφορά την κατασκευή ενός πλωτού τροχού με:

- 1) μηχανική ισχύς 472.5W σύμφωνα με τις σχέσεις 3.6-3.7  $P_{kin} * C_p = A * C_p * \frac{\rho}{2} * v_o^3$
- 2) ηλεκτρική ισχύς 283.5W. Υποθέτουμε ότι η απόδοση της γεννήτριας είναι 60%
- 3) όλα τα παραπάνω ισχύουν για ταχύτητα ποταμού  $u=2m/s$

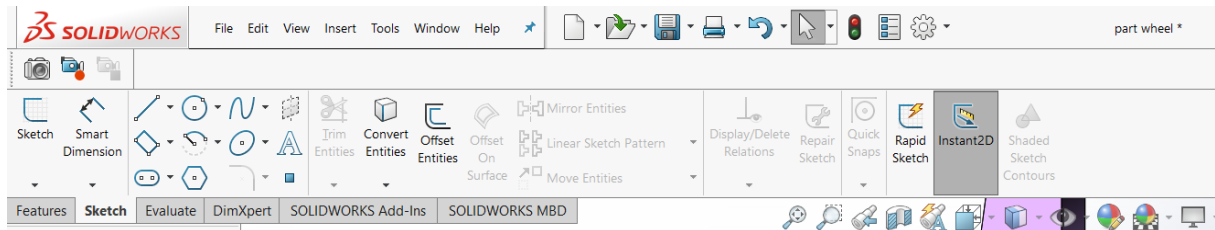
### 5.2 Solidworks και Solidworks drawing

Το SOLIDWORKS αποτελεί ένα περιβάλλον σχεδιασμού και χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη συστημάτων μηχανοτρονικής από την αρχή μέχρι το τέλος. Στο αρχικό στάδιο, το λογισμικό χρησιμοποιείται για σχεδιασμό, οπτικό ιδεασμό, μοντελοποίηση, αξιολόγηση σκοπιμότητας και διαχείριση έργου. Στη συνέχεια, το λογισμικό χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και την κατασκευή μηχανικών, ηλεκτρικών και λογισμικών στοιχείων.

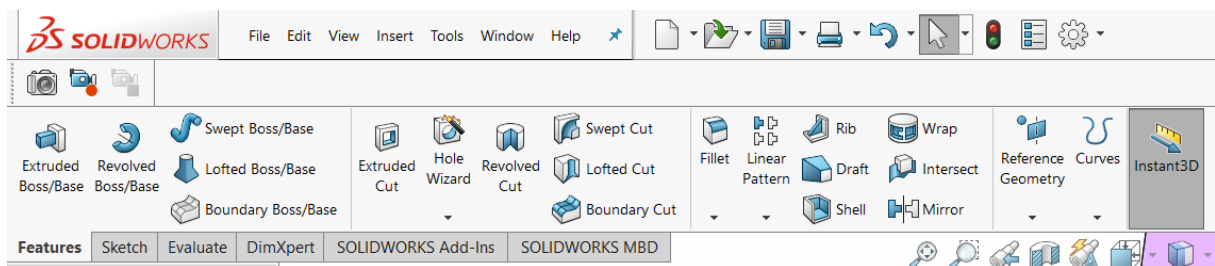


Σχήμα 5.1 περιβάλλον solidworks

Στο επάνω μέρος βρίσκεται ένα μενού το οποίο περιλαμβάνει εργαλεία για τον σχεδιασμό(σχήμα 5.2-5.3). Στην δικιά μας περίπτωση ο σχεδιασμός αρχικά έγινε κομμάτι κομμάτι (part) και στη συνέχεια όλα μαζί τα κομμάτια τοποθετήθηκαν σε ένα ενιαίο αρχείο Assembly.



Σχήμα 5.2 Μενού σχεδίασης solidworks



Σχήμα 5.3 μενού με χρήσιμα Features

Το Solidworks Drawing μάς δίνει τη δυνατότητα να απεικονίσουμε τις διαστάσεις του κάθε part που έχουμε σχεδιάσει στο Solidworks σε δισδιάστατη μορφή. Κάθε φορά που συμβαίνει μια αλλαγή στο τρισδιάστατο μοντέλο μας, όλες οι προβολές σχεδίων ενημερώνονται αυτόματα.

Για την δημιουργία νέου part επιλέγουμε το file → New → Part . ενώ για την δημιουργία ενός Assembly αρχείου file → New → Assembly.

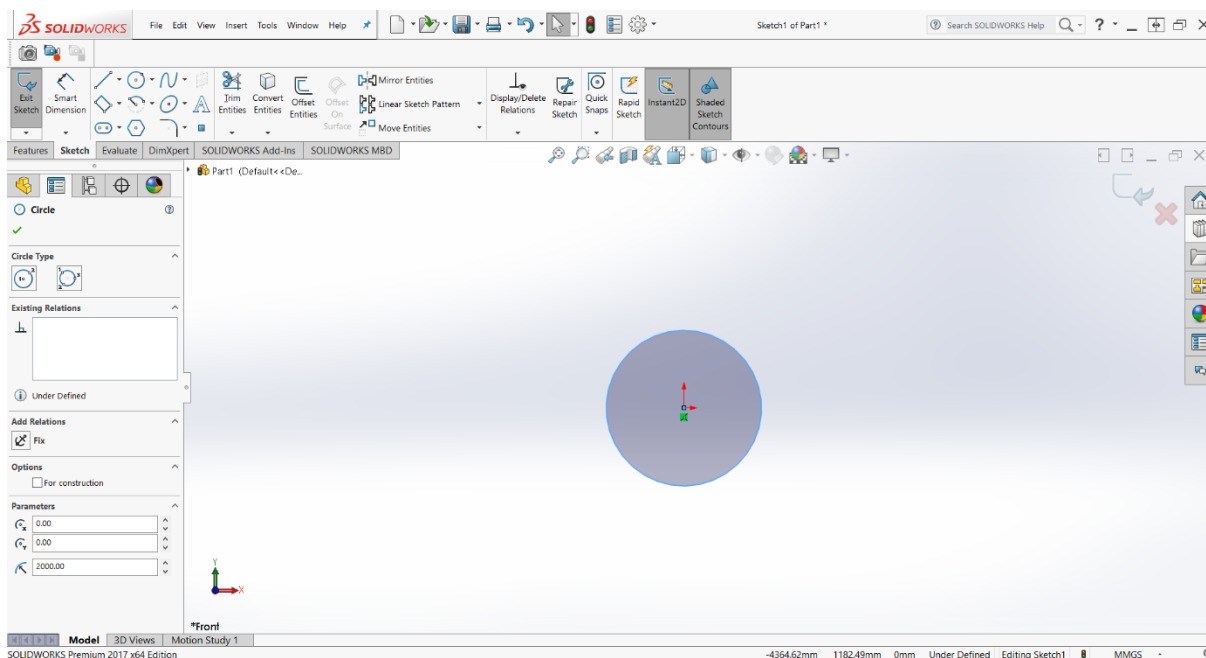
### 5.3 Τροχός

Το κάθε περύγιο θα έχει διαστάσεις 1.35m μήκος και 0.35m ύψος. Δηλαδή, το εμβαδόν μας θα είναι  $A=0.4725m^2$ . Η κατασκευή θα αποτελείται από 20 περύγια συνολικά. Ο συντελεστής απόδοσης ισχύος θεωρείται ίσος με  $C_p=0.25$  και το ειδικό βάρος του νερού  $\rho=1000kg/m^3$ .

$$P = A * C_p * \frac{\rho}{2} * v_o^3 = 0.4725 * 0.25 * \frac{1000}{2} * 2^3 = 472.5W \text{ μηχανική ισχύς}$$

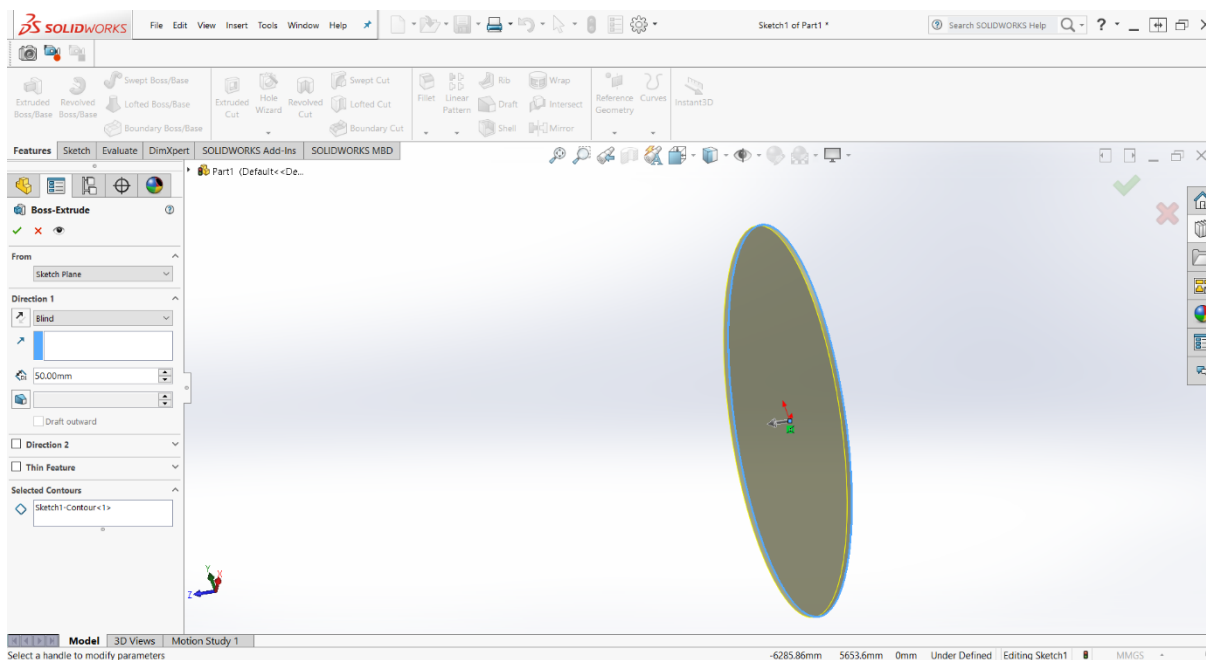
Η εξωτερική διάμετρος του τροχού θα είναι  $D_0=2m$  (όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4), καθώς από την σχέση 3.10 έχουμε  $\frac{nm_{in}}{n} = 7.76 * \frac{l}{D} - 0.31 = 7.76 * \frac{0.35}{2} - 0.31 = 1.048$ . Η σχέση μας δηλαδή είναι πολύ κοντά στην μονάδα, πετυχαίνοντας έτσι την μέγιστη απόδοση.

Αρχικά για τον σχεδιασμό του τροχού, στο front plane, με την βοήθεια του εργαλείου Circle σχεδιάσαμε έναν κύκλο με διάμετρο 2m.



Σχήμα 5.4 Κύκλος

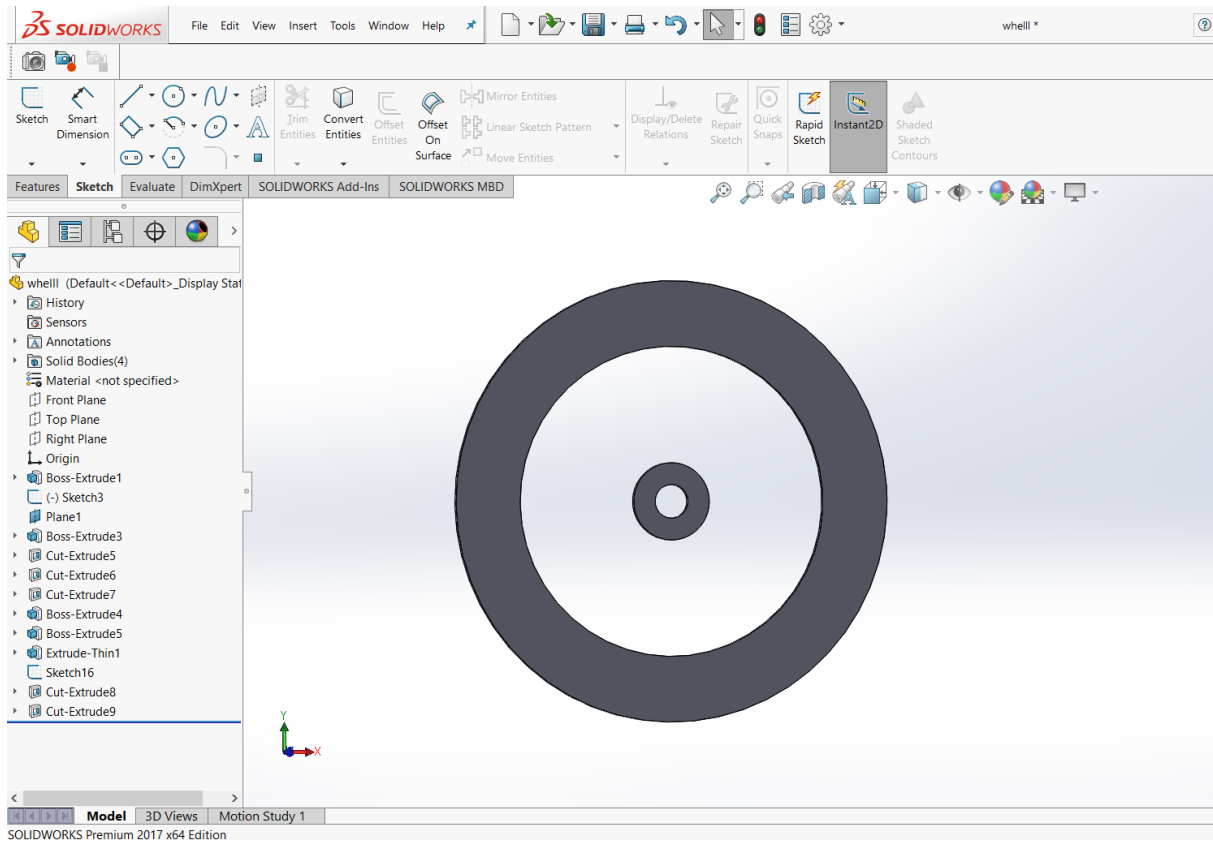
Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το εργαλείο Extruded Boss/Base το οποίο βρίσκεται στο μενού με τα features δώσαμε ένα πάχος 5cm.



Σχήμα 5.5 πάχος ρόδας

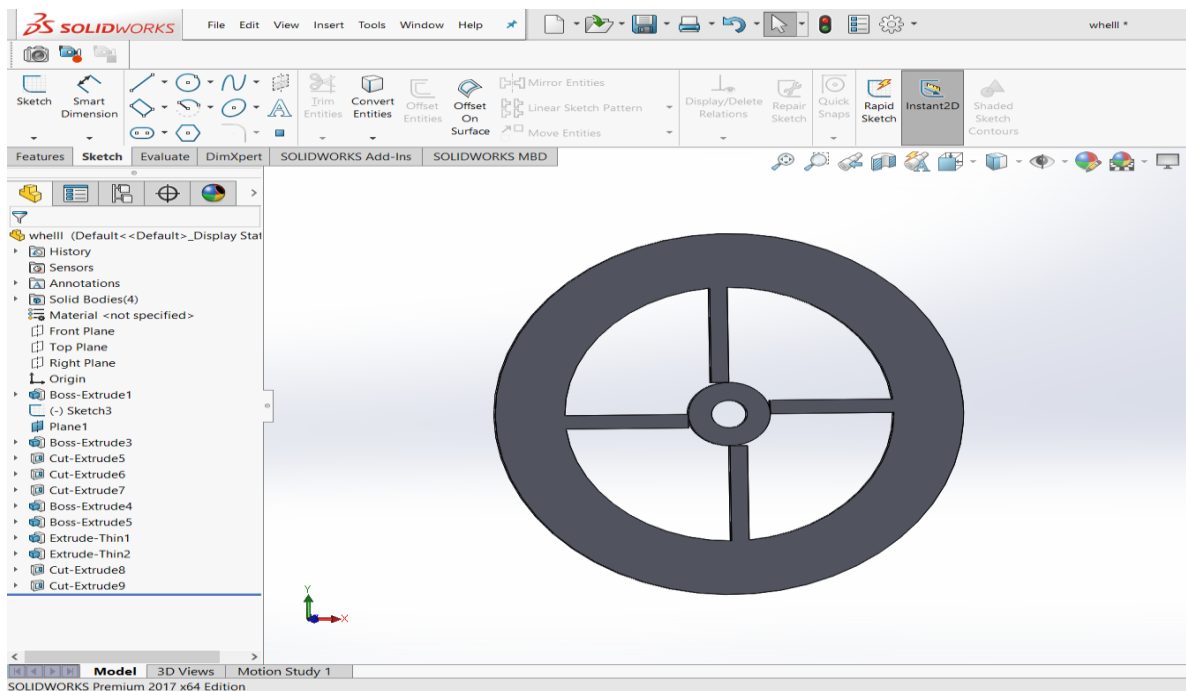
Με την βοήθεια του κύκλου και έπειτα του extruded cut ανοίξαμε μία τομή. Αυτό έγινε για να ξεφορτωθούμε το περιττό βάρος της ρόδας και η κατασκευή να γίνει πιο ελαφριά. Στο κέντρο ανοίχτηκε μια τρύπα 152mm ως υποδοχή για τον κεντρικό άξονα.

## Κεφάλαιο 5



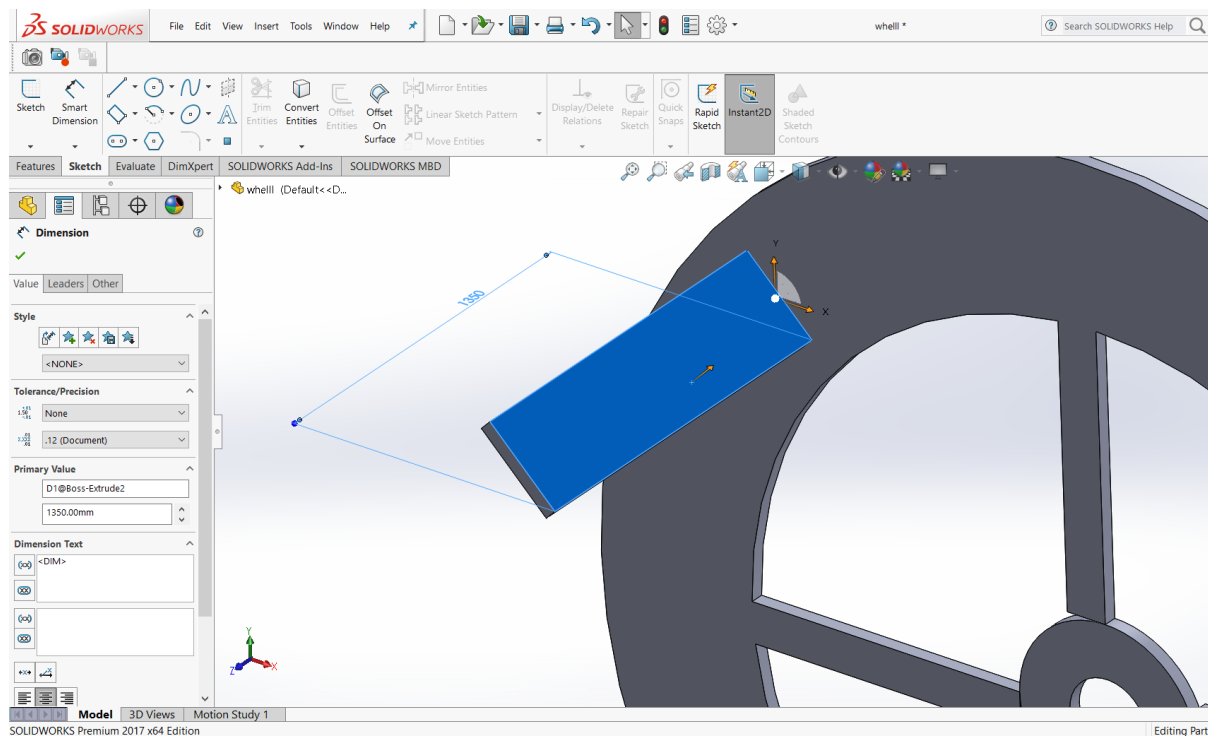
Σχήμα 5.6 τομή ρόδας

Και στη συνέχεια με την βοήθεια του μολυβιού σχημάτισαμε 4 άξονες με τους οποίους συνδέουμε την ρόδα με τον κεντρικό άξονα. Καταλήγοντας στο σχήμα 5.7

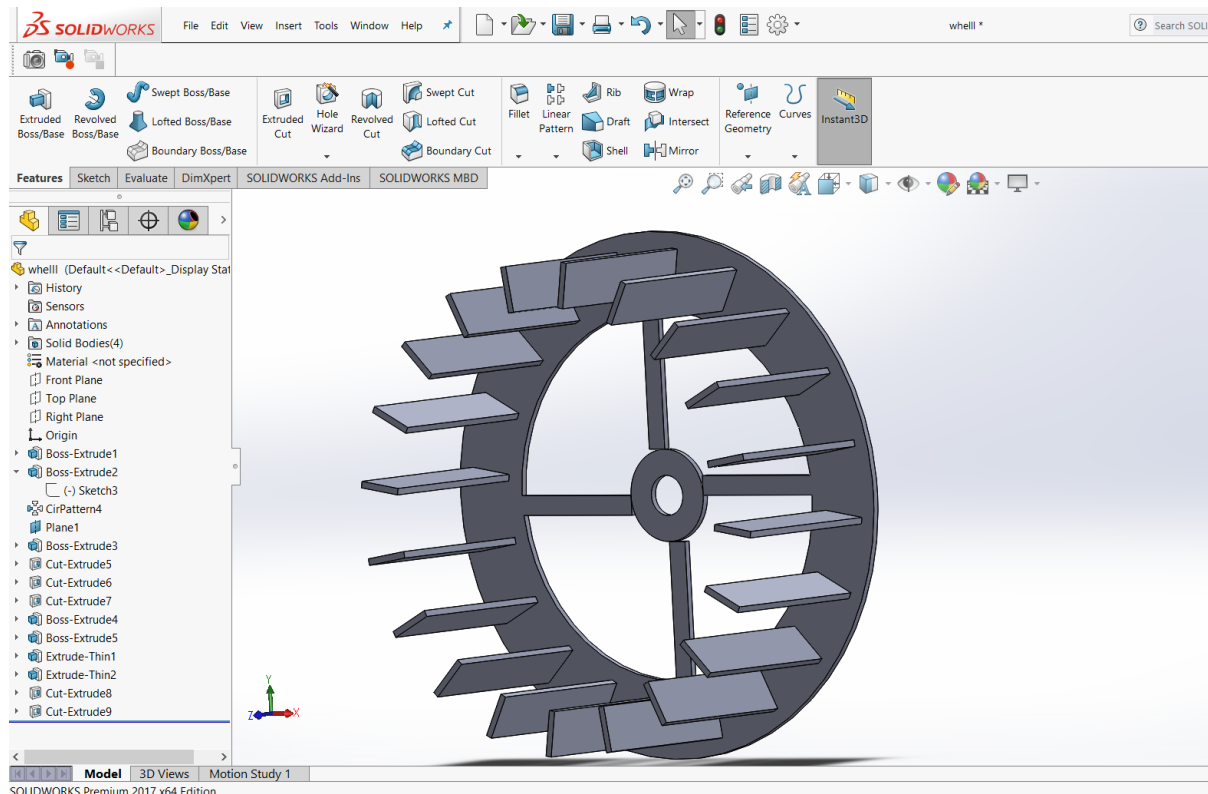


Σχήμα 5.7 εισαγωγή τεσσάρων αξόνων

Όσον αφορά το περύγιο, ζωγραφίσαμε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο με πλάτος 350mm (το ύψος του περυνγίου μας). Και στη συνέχεια το κάναμε προέκταση με το extruded Boss/Base και του δώσαμε μήκος 1350mm (το μήκος του περυνγίου).



Σχήμα 5.8 σχεδιασμός περυνγίου

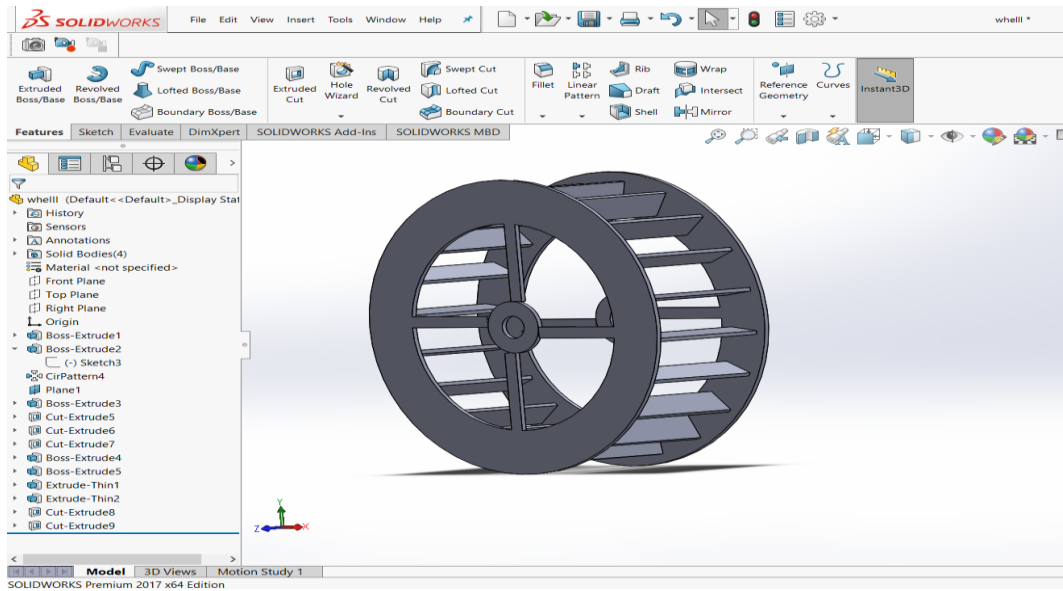


Σχήμα 5.9 Ρόδα μετά την χρήση circular pattern για το περύνιο

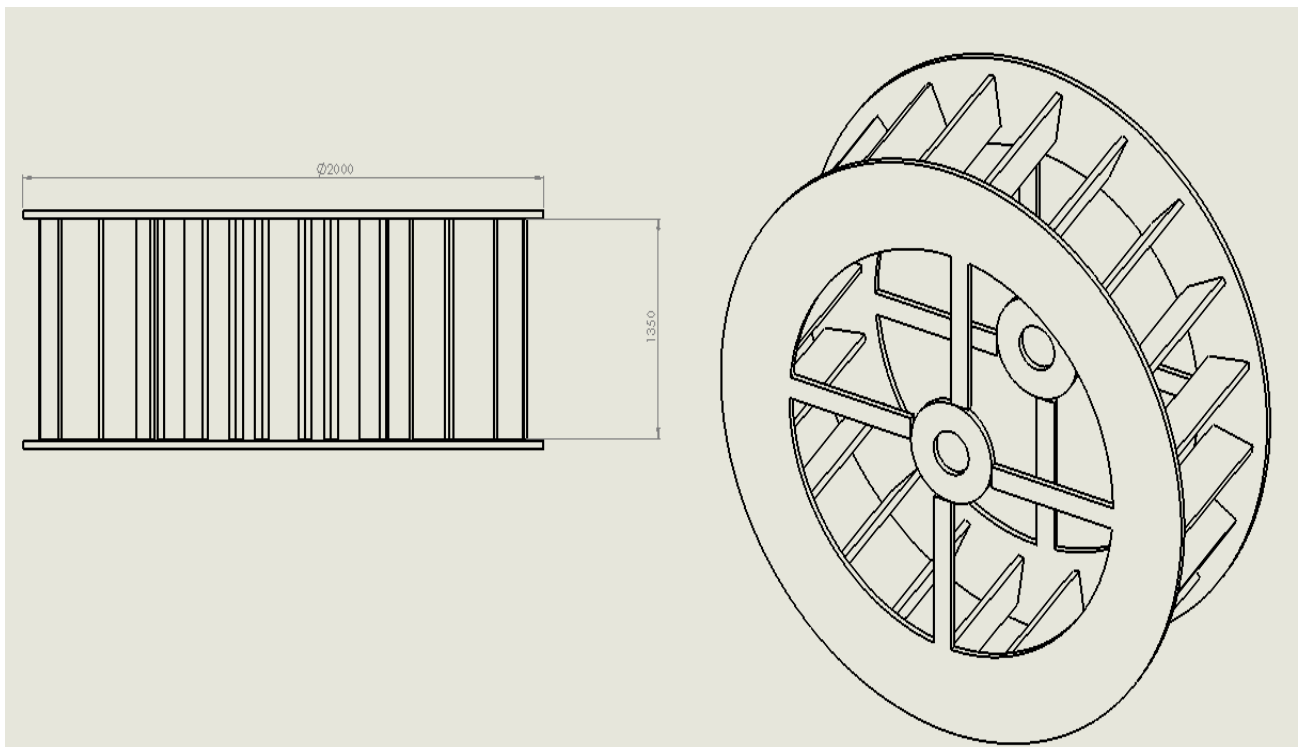
## Κεφάλαιο 5

Τελειώνοντας δημιουργήσαμε ακόμη ένα `front plane2` από το μενού του `reference plane` και το τοποθετήσαμε σε απόσταση 1355mm από το `front plane1`. Αυτό που κάναμε ήταν να αντιγράψουμε το `Sketch1` (ο σχεδιασμός του κύκλου μας) στο `front plane 2`.

Η τελική όψη φαίνεται στο σχήμα 5.10 καθώς ενώ στο σχήμα 5.11 φαίνονται οι διαστάσεις.



Σχήμα 5.10 Σχεδιασμός ρόδας



Σχήμα 5.11 Διαστάσεις τροχού.

## 5.4 Στροφές και άξονας μεταφοράς κίνησης

Όπως είδαμε και στον πίνακα 2.4.1 ο λόγος της ταχύτητας του τροχού προς αυτή του ποταμού είναι 0.4-0.55. Για 2m/s και για λόγο  $\frac{v_1}{v_0} = 0.4$  ( $v_1$  είναι η ταχύτητα της ρόδας και  $v_0$  η ταχύτητα του ποταμού) η ελάχιστη ταχύτητα της ρόδας μας φτάνει τα 0.8m/s ενώ για  $\frac{v_1}{v_0} = 0.55$  η ταχύτητα φτάνει τα 1.1m/s. Έτσι προκύπτει ένας μέσος όρος ταχύτητας 0.95m/s.

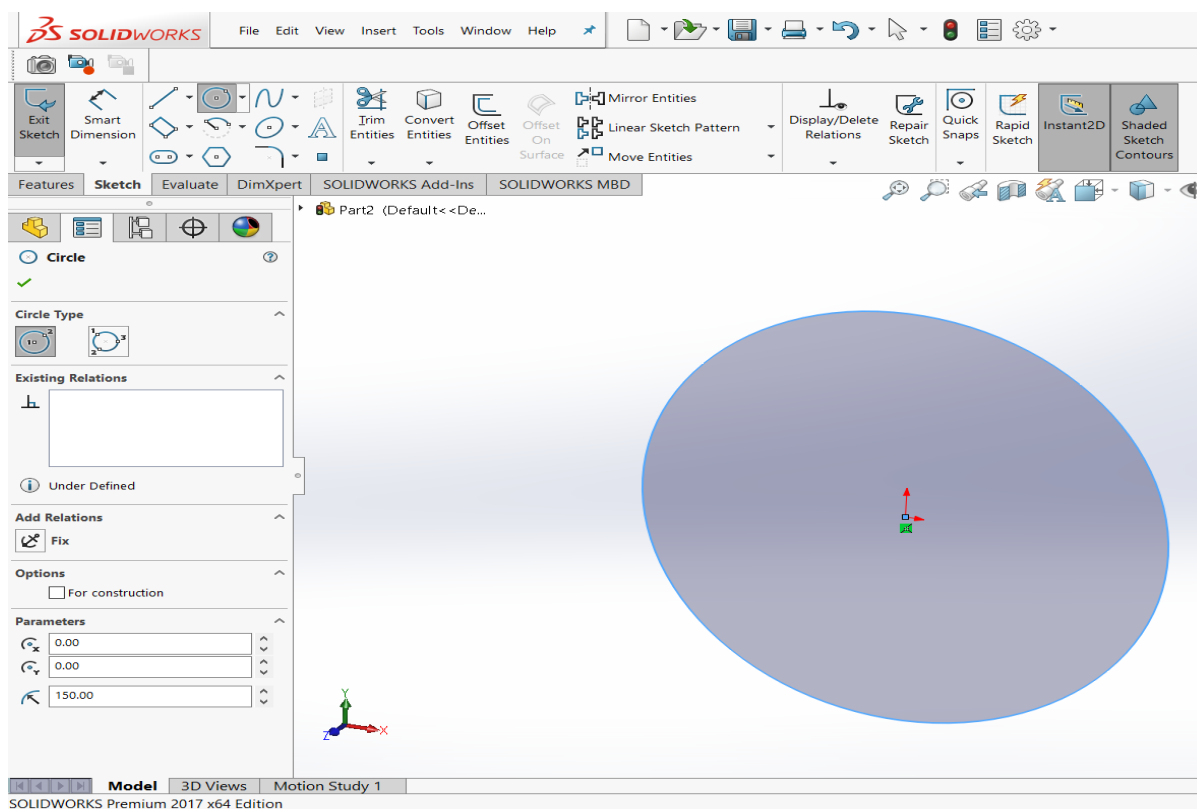
Βασιζόμενοι, λοιπόν στη σχέση [17]

$$RPM = \frac{60u_1}{\pi D_0} \quad (5.1)$$

( $u_1=0.95\text{m/s}$  η ταχύτητα του τροχού και  $D_0$  η εξωτερική διάμετρος του) μπορούμε να βρούμε πως οι στροφές του τροχού θα είναι κοντά στα 10 rpm.

Η μεταφορά της κίνησης του τροχού προς την τροχαλία γίνεται μέσω ενός άξονα ο οποίος είναι τοποθετημένος στο κέντρο του τροχού όπως φαίνεται στο σχήμα 5.12. Ο άξονας έχει διάμετρο 15cm και μήκος 2.15m (Σχήμα 5.13).

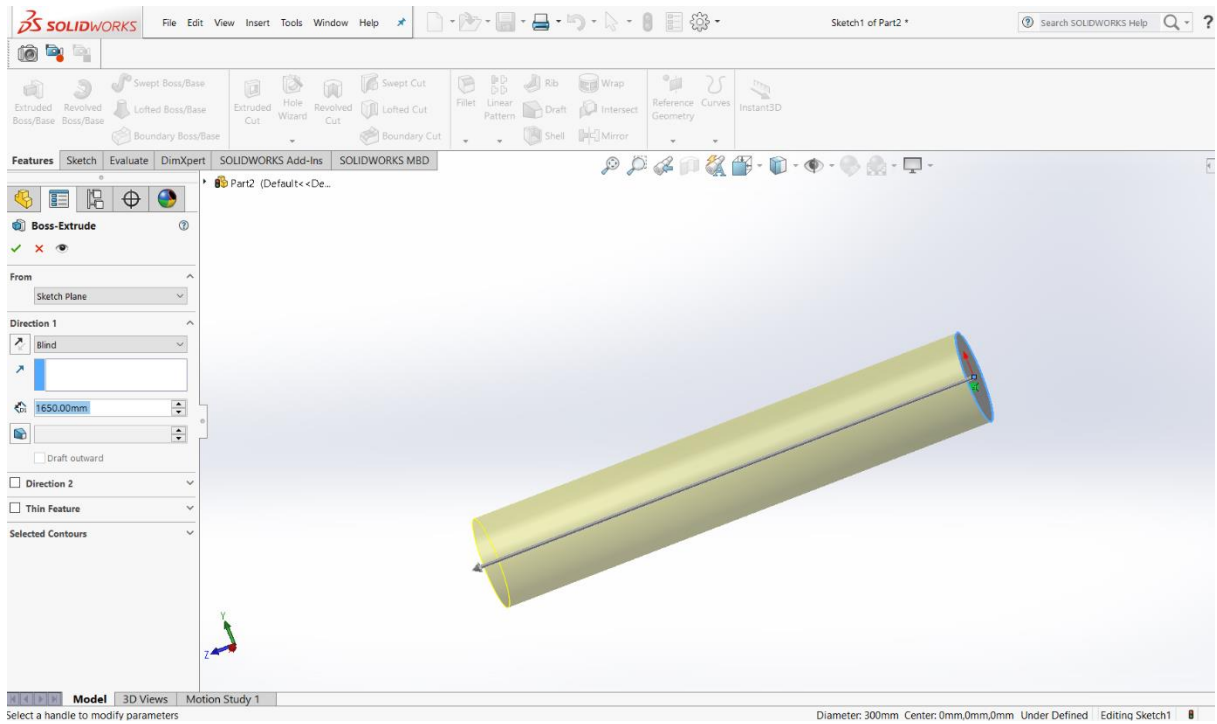
Ο σχεδιασμός του άξονα ήταν αρκετά απλός. Αρχικά δημιουργήθηκε ένας κύκλος 150mm



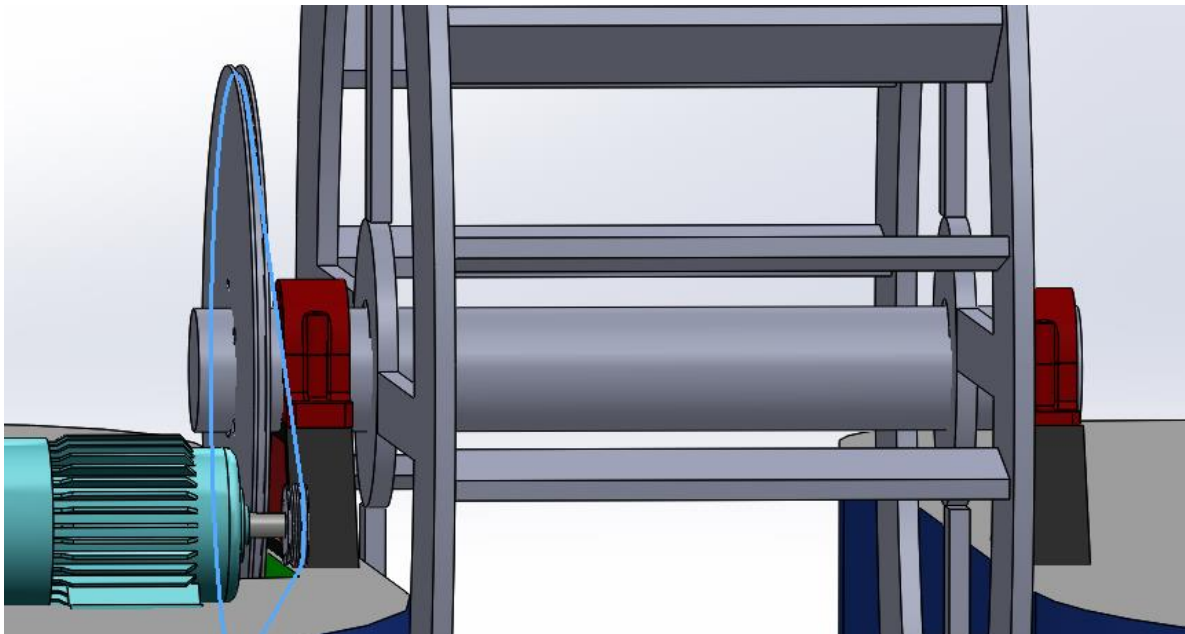
Σχήμα 5.12 Διάμετρος άξονα

Και στη συνέχεια του δόθηκε μήκος 2150mm με το εργαλείο extruded boss/base.

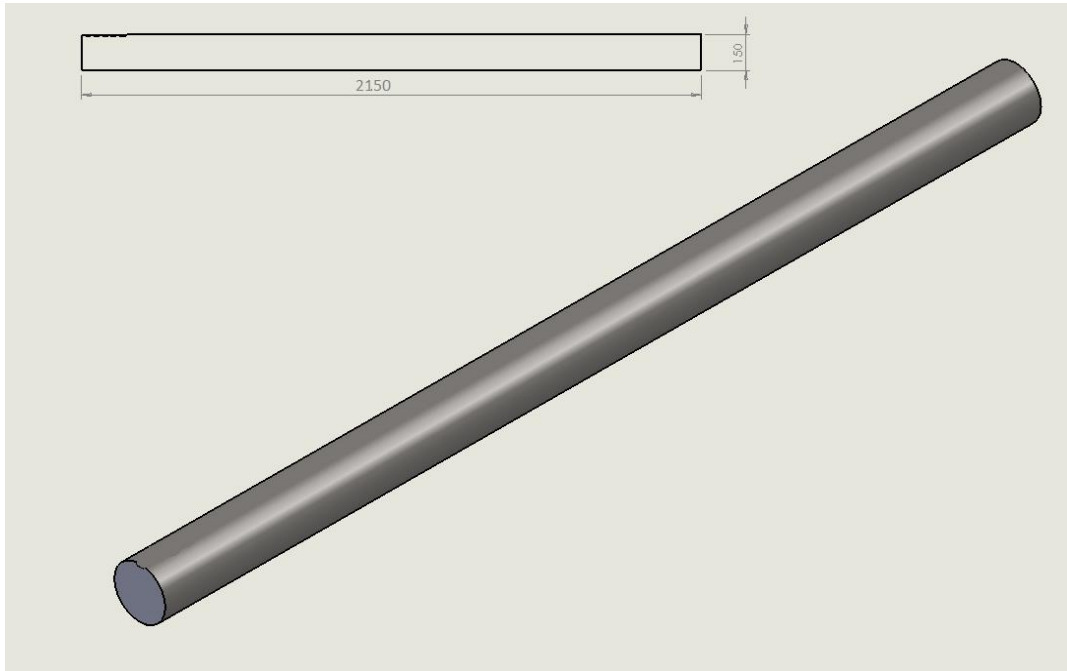
## Κεφάλαιο 5



Σχήμα 5.13 μήκος άξονα

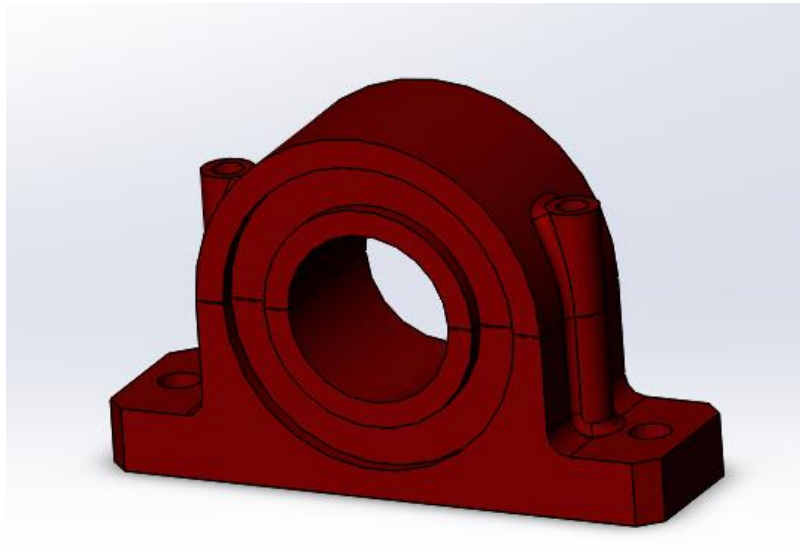


Σχήμα 5.14 άξονας μεταφοράς στροφών



Σχήμα 5.15 διαστάσεις άξονα μεταφοράς στροφών

Η στήριξή του γίνεται σε δύο βάσεις οι οποίες περιέχουν ρουλεμάν έτσι ώστε να πετύχουμε την εύκολη κίνηση του (Σχήμα 5.14).



Σχήμα 5.16 Βάση στήριξης κεντρικού άξονα

( η βάση στήριξης δεν αποτελεί δικός μας σχεδιασμός [20]).

## 5.5 Τροχαλίες και μάντας

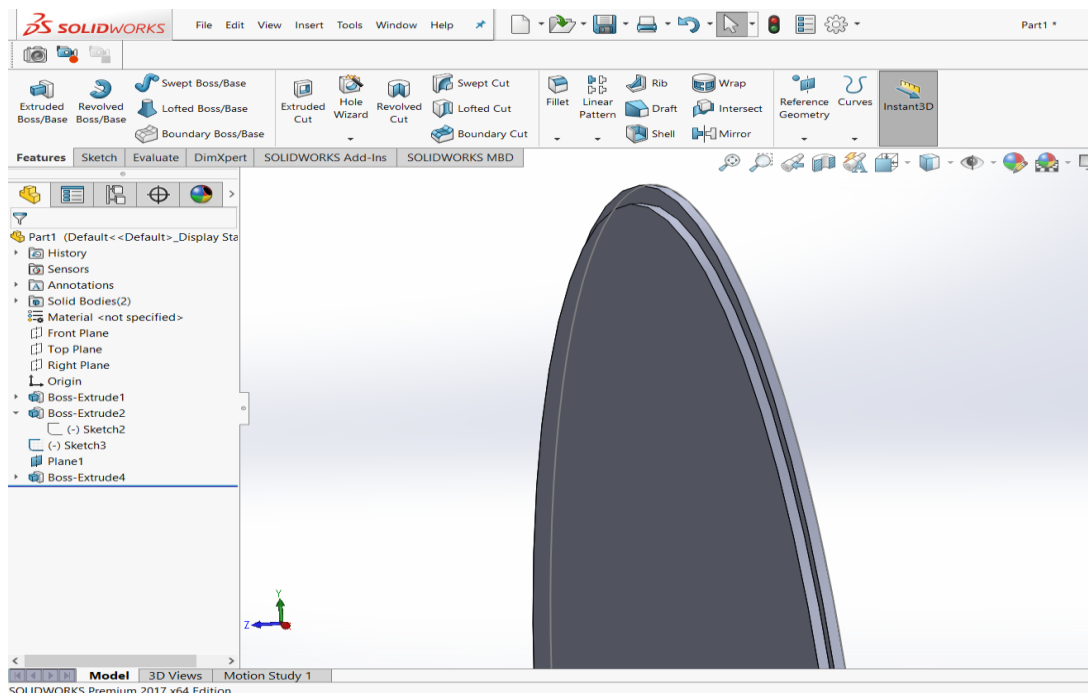
Επειδή τα rpm του τροχού μας είναι σχετικά μικρά σε αριθμό (10rpm) γι' αυτό τον λόγο η τροχαλία της ρόδας μας θα είναι αρκετά μεγαλύτερη από την τροχαλία της γεννήτριας αυξάνοντας έτσι τις στροφές.

Ο λόγος που χρησιμοποιούμε είναι 37.5:1 δηλαδή η τροχαλία της ρόδας πρέπει να είναι 37.5 φορές μεγαλύτερη από την τροχαλία της γεννήτριας.

$$37.5 \times 10rpm = 375rpm$$

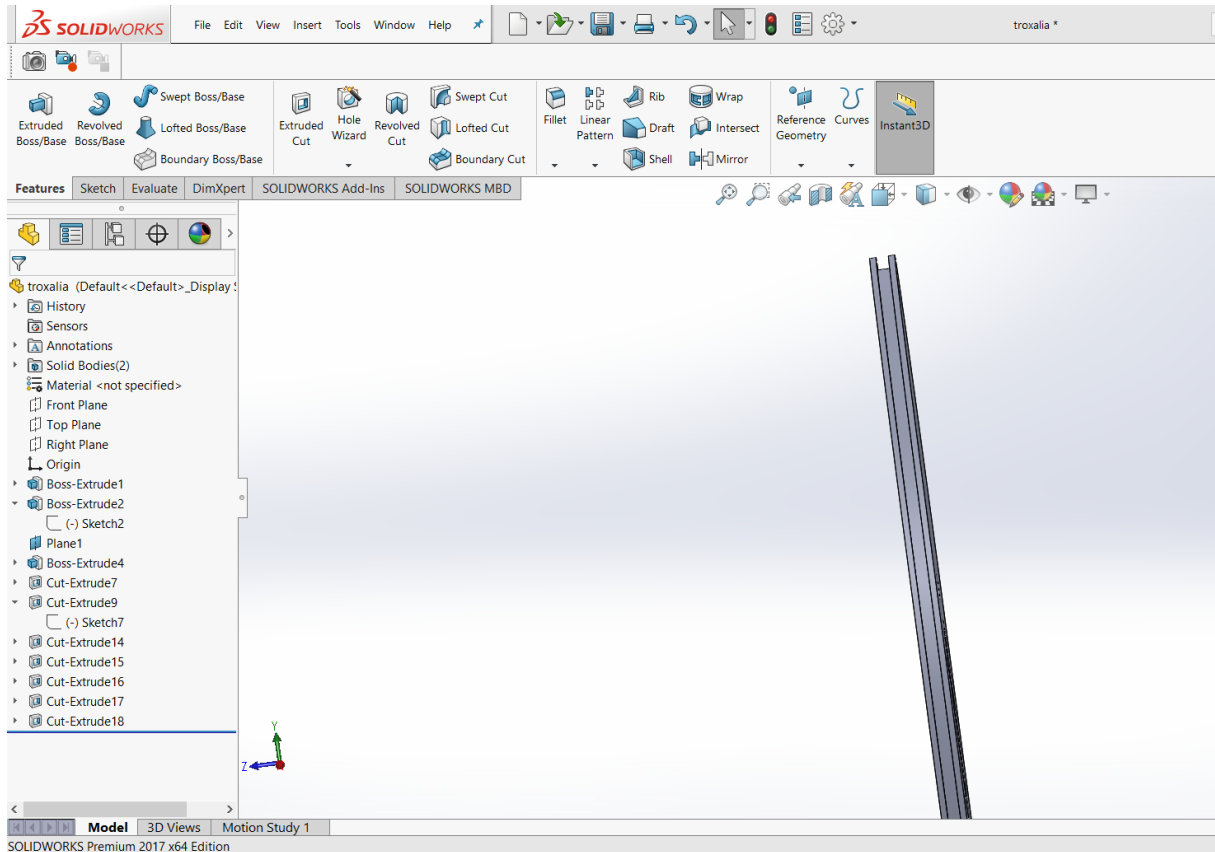
Έτσι η τροχαλία της ρόδας μας θα έχει διάμετρο 75cm ενώ της γεννήτριας μας 2cm.

Για τον σχεδιασμό της τροχαλίας της ρόδας στο front plane αρχικά σχεδιάστηκε ένας κύκλος 750mm ο οποίος έγινε extruded base/boss 10mm. Στο ίδιο plane σχεδιάστηκε ένας ακόμη κύκλος 740mm με extruded base/boss 30mm δημιουργώντας το παρακάτω σχήμα.



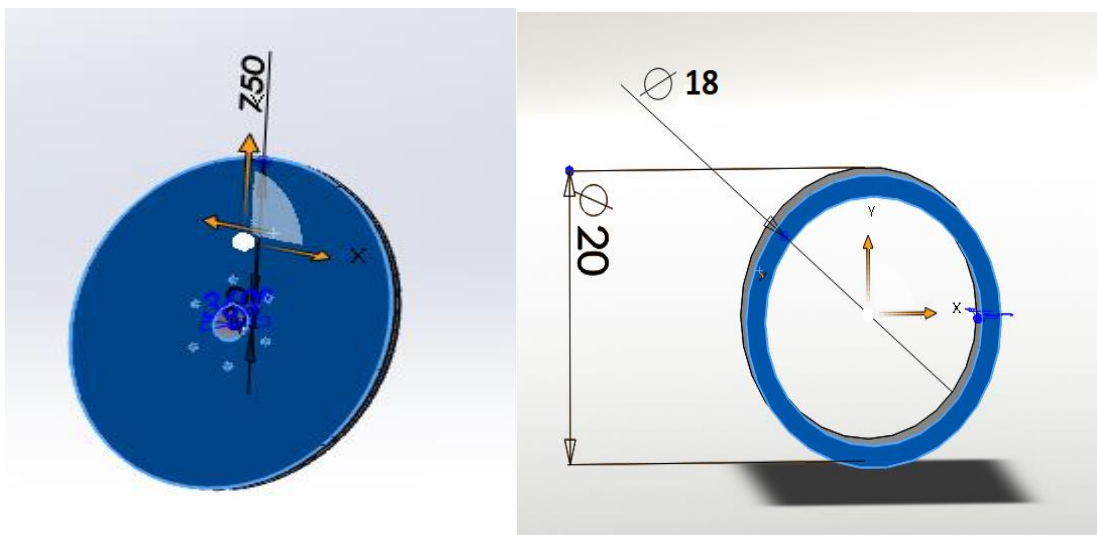
Σχήμα 5.17 Σχεδιασμός τροχαλίας

Μετέπειτα δημιουργήθηκε ακόμη ένα front plane με απόσταση από το αρχικό 40mm και στη συνέχεια σχεδιάστηκε ένας ακόμη κύκλος με διάμετρο 750mm. Με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα αυλάκι στο εσωτερικό, το οποίο θα αποτελεί την θέση του μάντα.



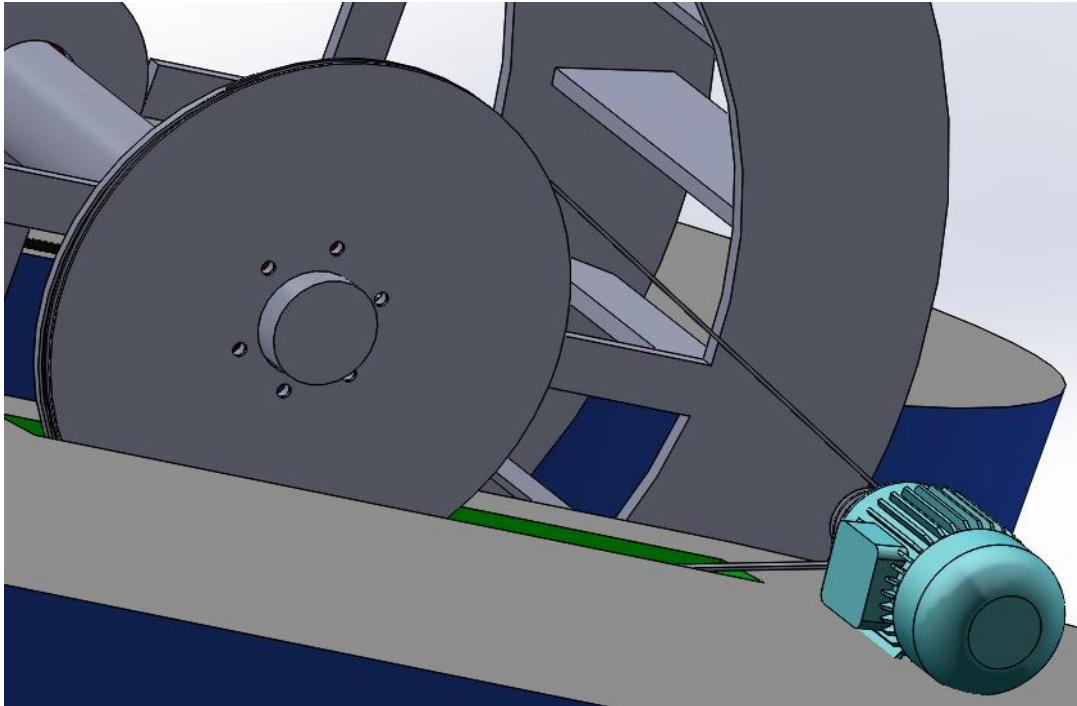
Σχήμα 5.18 οδηγός μάντα

Για την εισαγωγή του άξονα στο κέντρο της τροχαλίας ανοίχτηκε μία τρύπα 152mm με το τελικό αποτέλεσμα να φαίνεται στο σχήμα 5.19. Η ίδια λογική ακολουθήθηκε και για τον σχεδιασμό της τροχαλίας της γεννήτριας της οποίας οι διαστάσεις φαίνονται στο σχήμα 5.19 στα δεξιά.



Σχήμα 5.19 Αριστερά τροχαλία ρόδας -δεξιά τροχαλία γεννήτριας

Η μεταφορά των στροφών της τροχαλίας της ρόδας προς την τροχαλία της γεννήτριας και μετέπειτα στον δρομέα αυτής γίνεται μέσω ιμάντα (σχήμα 5.15).



Σχήμα 5.20 Μεταφορά κίνησης με την χρήση ιμάντα

Βέβαια επειδή ο ιμάντας στην πραγματικότητα παρουσιάζει φθορές, γι' αυτόν τον λόγο απαιτείται και η τακτική του αλλαγής.

Όπως θα αναφερθεί και μετά επειδή δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τις διαστάσεις των πλωτήρων σε αυτό το σημείο, γι' αυτό τον λόγο η απόσταση τροχαλίας ρόδας-γεννήτριας δεν είναι η πραγματική και σε μία πιθανή κατασκευή μπορεί να διαφέρει.

Στη δεξιά βάση στην οποία είναι τοποθετημένη η τροχαλία της ρόδας έχουμε σχεδιάσει μια τρύπα έτσι ώστε η τροχαλία να μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα (σχήμα 5.20).

Μία άλλη λύση είναι τοποθετηθεί ένα κιβώτιο ταχυτήτων με την ίδια αναλογία. Σε αυτή την περίπτωση όμως το κόστος κατασκευής θα αυξηθεί.

## 5.6 Χαρακτηριστικά γεννήτριας

Αρχικά όπως προαναφέραμε η μηχανική ισχύς η οποία παράγουμε είναι 472.5W

Η γεννήτρια μας θα αποτελείται από 16 πόλους ή αλλιώς 8 ζεύγη πόλων. Όπως προαναφέραμε στη σχέση 4.1 γνωρίζοντας τις στροφές του δρομέα της γεννήτριας μπορούμε να υπολογίσουμε τους πόλους που χρειαζόμαστε για συχνότητα  $f=50\text{Hz}$ .

$$f = \frac{N \cdot P}{120} \Rightarrow P = \frac{f \cdot 120}{N} = \frac{50 \cdot 120}{375} \Rightarrow P = 16 \text{ πόλοι}$$

Η γωνιακή ταχύτητα είναι η εξής:

$$\omega = \frac{rpm * 2 * \pi}{60} = 39.3 \text{ rad/s}$$

Για την μαγνητική ροή  $\varphi = d * l * B = 0.2 * 1.6 * 0.2 = 0.06 \text{ Wb}$  (d=0.2m η διάμετρος του στάτη της μηχανής, l=1.6m το μήκος της κάθε συστάδας αγωγών και B=0.2 T το πλάτος της μαγνητικής επαγωγής του πεδίου).  $E_{max}=325 \text{ V}_{peak}$

Σύμφωνα με τη σχέση 4.4  $E_{max} = Nc * \varphi * \omega \Rightarrow Nc = \frac{E_{max}}{\varphi * \omega} = \frac{325}{39.3 * 0.064} = 129 \text{ τυλίγματα}$

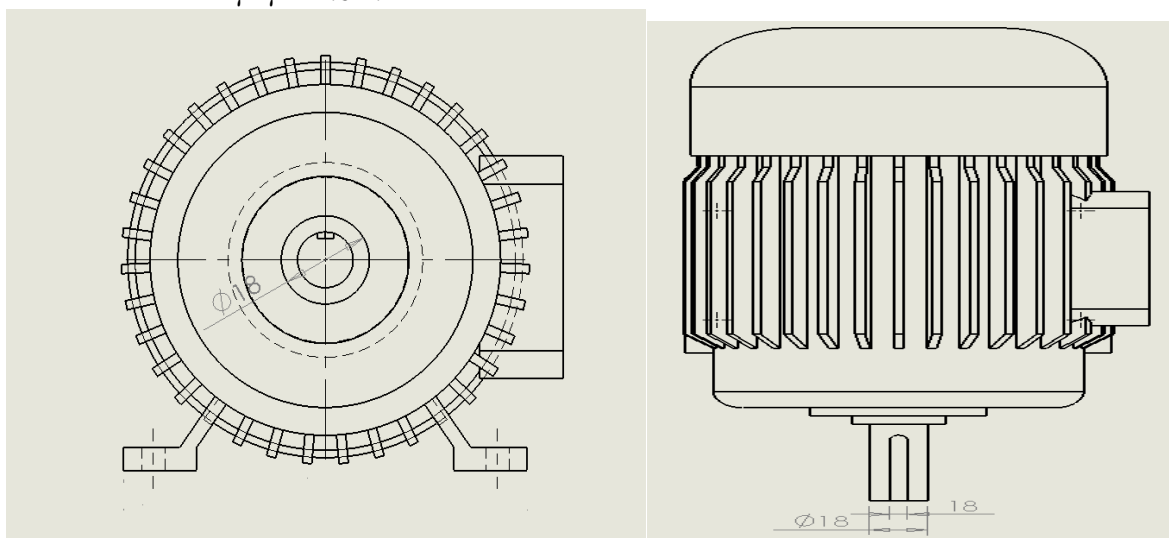
Ένα υποθέσουμε ότι η απόδοση της γεννήτριας μας θα είναι στο 60% τότε από την σχέση 3.8

$$P_{ηλ} = P * η = A * Cp * \frac{\rho}{2} * v o^3 * η = 472.5 * 0.6 = 283.5 \text{ Watt}$$

Η γεννήτρια μας λοιπόν θα μας αποδίδει ηλεκτρική ισχύ 283.5Watt.

Καταλήγουμε λοιπόν ότι η γεννήτρια:

- Θα είναι μονοφασική.
- Τάση εξόδου 230Vrms
- Στη γεννήτρια θα πρέπει να τοποθετηθούν 16 πόλοι ή αλλιώς 8 ζεύγη.
- Ο δρομέας θα αποτελείται από έκτυπους πόλους
- Οι στροφές του δρομέα θα είναι 375rpm.
- Η κάθε συστάδα αγωγών θα πρέπει να αποτελείται από 129 τυλίγματα με μήκος αγωγού 1.6m.



Σχήμα 5.21 Γεννήτρια

Το μοντέλο της γεννήτριας η οποία χρησιμοποιήθηκε στο περιβάλλον του Solidworks ήταν έτοιμο και δεν κατασκευάστηκε από εμάς. [25]

## 5.7 Πλευση

Για να πλευσει η κατασκευή μας θα πρέπει η δύναμη άνωσης να είναι μεγαλύτερη από δύναμη του βάρους που ασκεί η κατασκευή μας.

$F_b > G$  όπου  $F_b$  η άνωση και  $G$  το γινόμενο της βαρύτητας και του βάρους της κατασκευής

$$F_b = V * \rho * g \quad (5.2)$$

Όπου  $V$  ο όγκος της βάσης σε  $m^3$ ,  $\rho$  το ειδικό βάρος του νερού  $1000kg/m^3$  και  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας  $9.81 m/s^2$

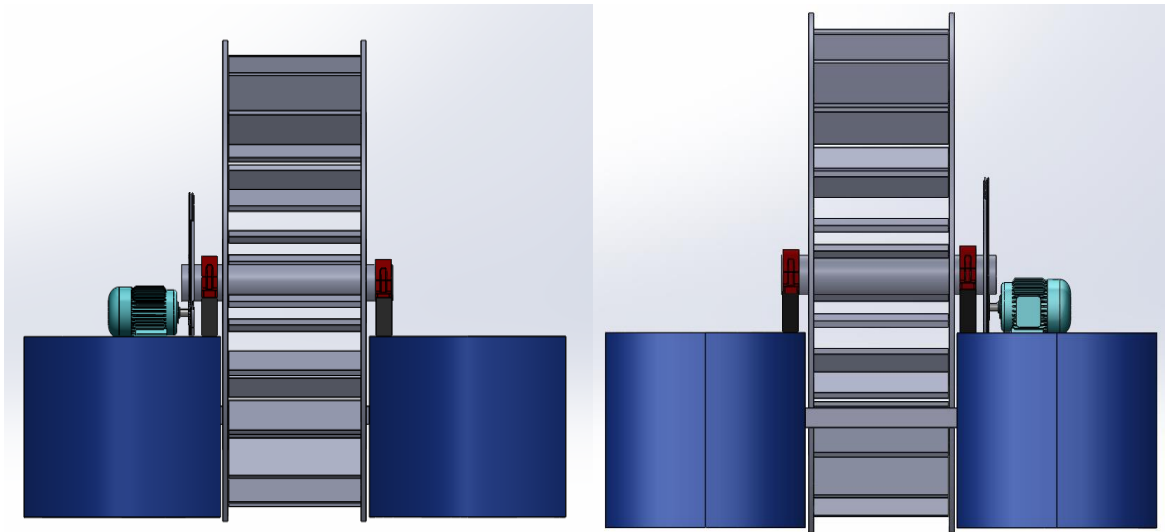
$$G = m * g \quad (5.3)$$

Όπου  $m$  το βάρος της κατασκευής και  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας[17].

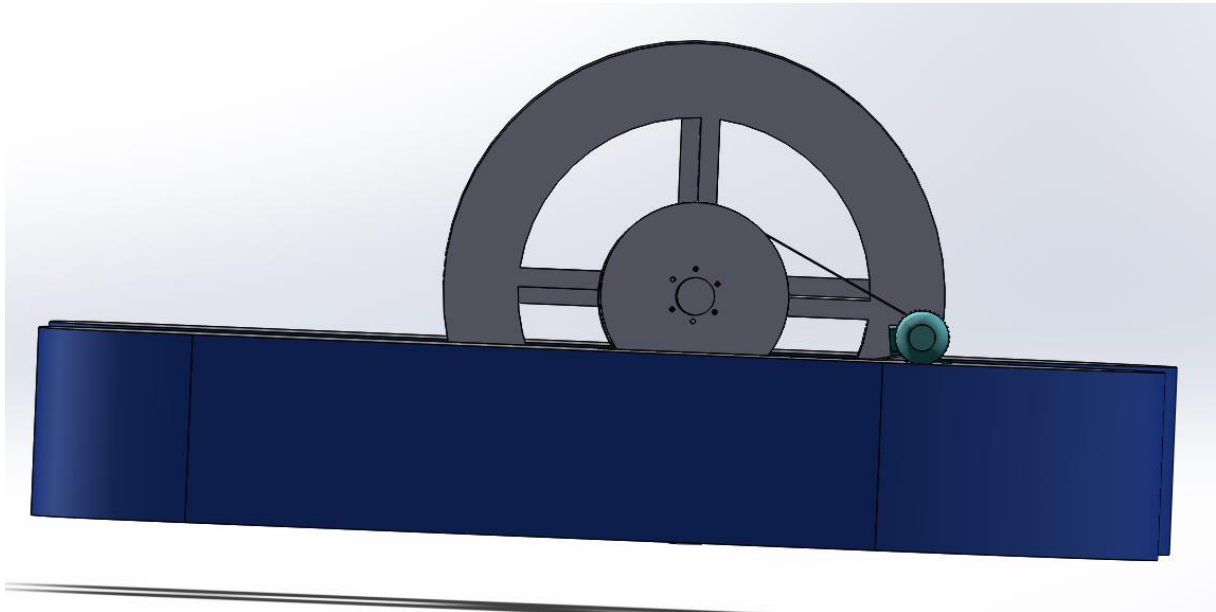
Επειδή, όμως, δεν γνωρίζουμε το βάρος της κατασκευής σε αυτό το στάδιο, οι διαστάσεις της βάσης που έχουμε θέσει είναι τυχαίες. Στο πίσω μέρος έχει τοποθετηθεί ένας κοιλοδοκός ο οποίος κρατάει σε σταθερή απόσταση τους πλωτήρες μας.

### 5.8 Ολική κατασκευή

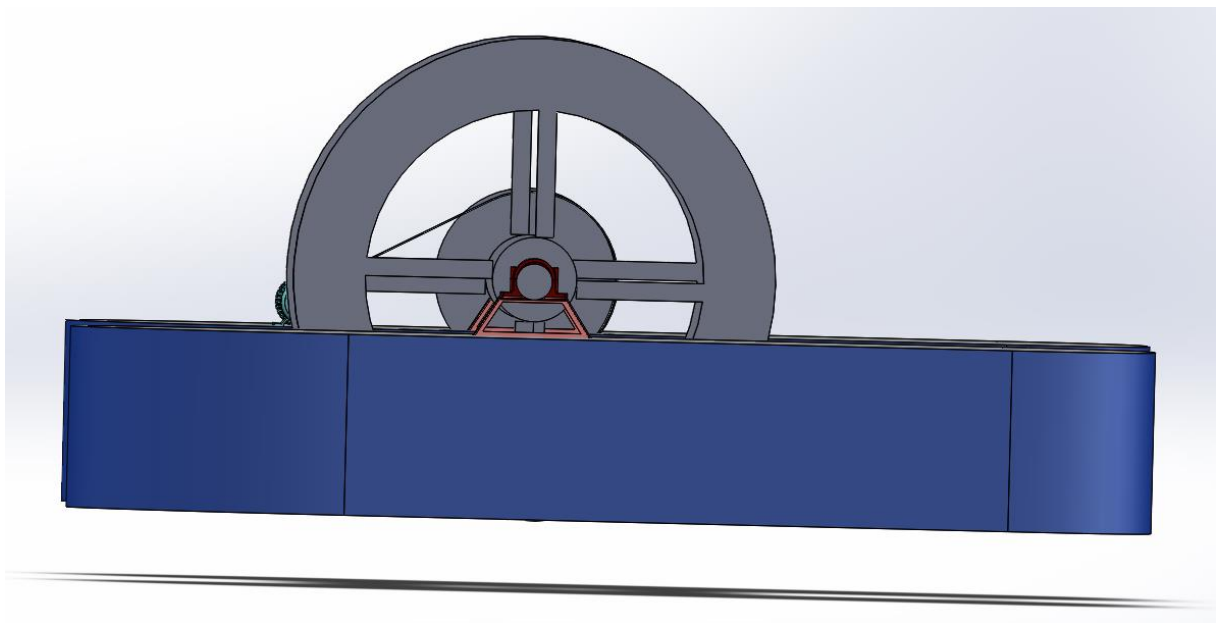
Η συναρμολόγηση των παραπάνω μελών φαίνεται στα παρακάτω σχήματα. Η τοποθέτηση της βάσης καθώς και το μέγεθος της ρόδας έχει γίνει έτσι ώστε το κάθε πτερύγιο που βρίσκεται στο κατώτατο μέρος της ρόδας να είναι πλήρως βυθισμένο για να έχουμε όσον τον δυνατών μεγαλύτερη εκμετάλλευση της μηχανικής ισχύος μας.



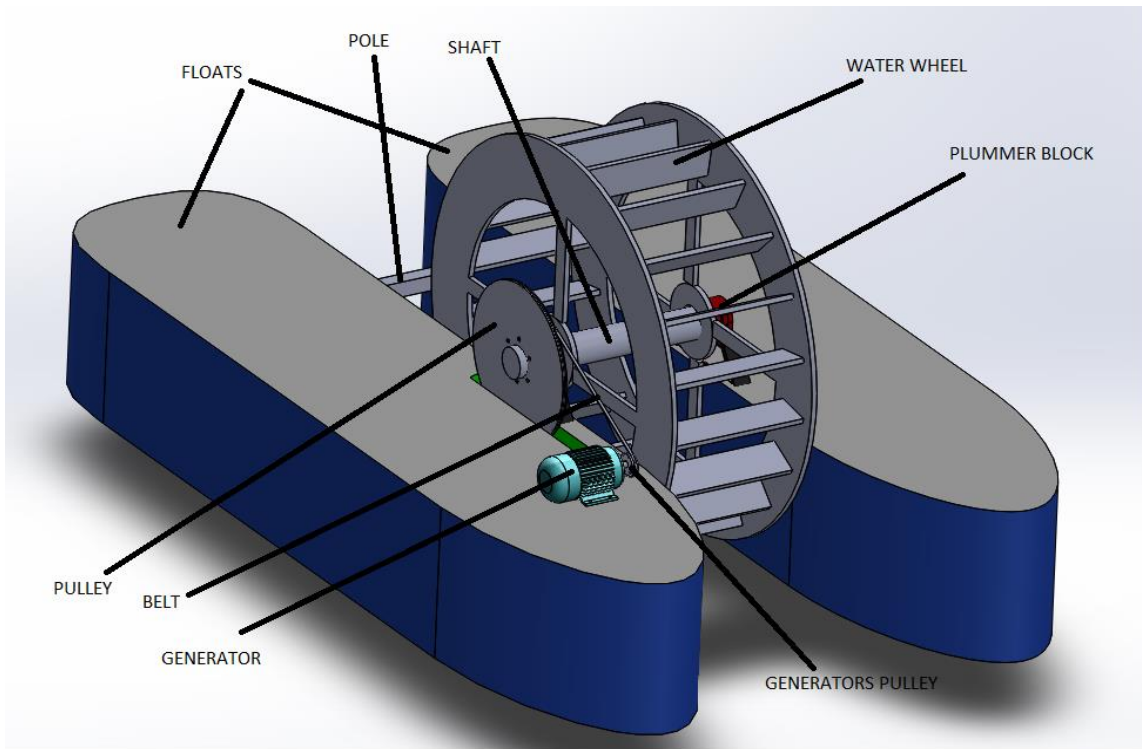
Σχήμα 5.22 Μπροστινή και πισινή μεριά



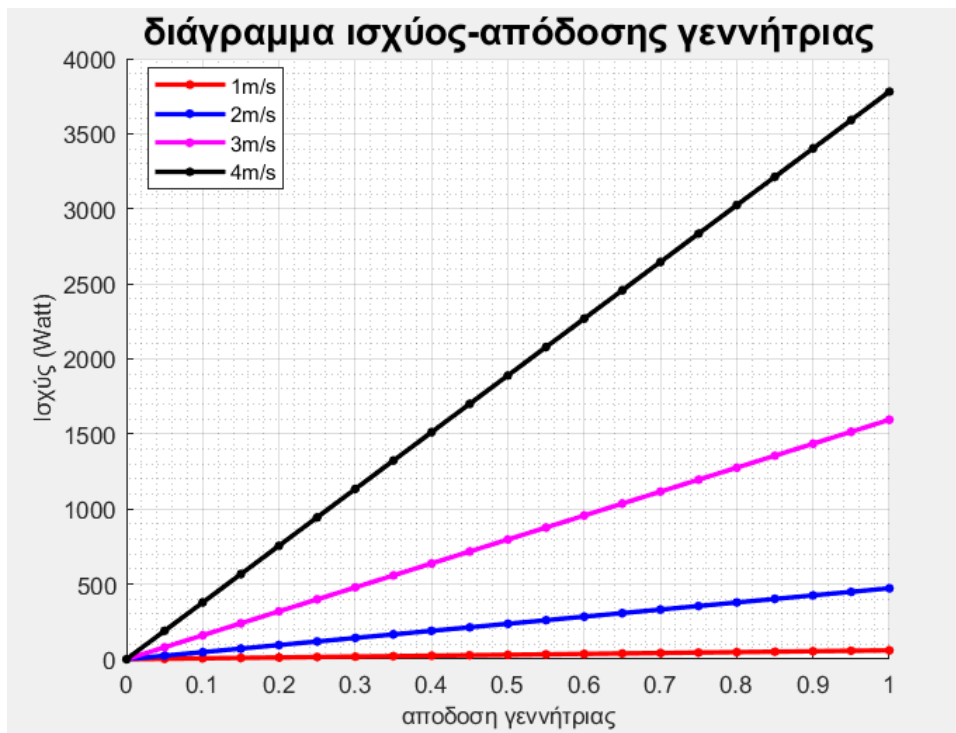
Σχήμα 5.23 Πλαϊνή μεριά από την μεριά της γεννήτριας



Σχήμα 5.24 πλαϊνή μεριά



Σχήμα 5.25 Μέρη κατασκευής



Σχήμα 5.26 διάγραμμα ισχύος-απόδοσης γεννήτριας

- κόκκινο- 1m/s
- μπλε- 2m/s
- μωβ- 3m/s
- μαύρο- 4m/s

Στο σχήμα 5.22 εμφανίζεται η ισχύς εξόδου σε σχέση με την απόδοση της γεννήτριας. Οι τέσσερις ευθείες αντιπροσωπεύουν τις ταχύτητες από 1m/s έως 4m/s. Οι τιμές οι οποίες μας ενδιαφέρουν είναι αυτές για 0.5-0.9 απόδοση γεννήτριας, καθώς η απόδοση μιας γεννήτριας στην πραγματικότητα κυμαίνεται από 50% έως 90%. Στο 100% έχουμε την μηχανική ισχύ. Όπως μπορούμε να δούμε η ταχύτητα παίζει σημαντικό ρόλο στο ποσό της παραγόμενης ισχύος.

Πίνακας 5.1 Χάρτης ισχύος εξόδου

υ ποταμού (m/s)	Ρηλ η=50% Watt	Ρηλ η=60% Watt	Ρηλ η=70% Watt	Ρηλ η=80% Watt	Ρηλ η=90% Watt	Ρμηχ (Cp=0.25) Watt
1	29.5	35.4	41	47	53	59
2	236	283	330	378	425	472.5
3	797	957	1116	1275	1435	1594
4	1890	2268	2646	3024	3402	3780

Αλλαγή ταχύτητας όμως σημαίνει και αλλαγή RPM. Σε αυτή την περίπτωση ανάλογα με την ταχύτητα ροής του ποταμού μπορούμε να αλλάξουμε τις τροχαλίες (ρόδας-γεννήτριας) ώστε να πετύχουμε τα 375 rpm που χρειαζόμαστε για την ομαλή λειτουργία της γεννήτριας.

## 5.9 Επίλογος

Τα συστήματα εκμετάλλευσης της ροής των ποταμών είναι απλά στην κατασκευή. Δεν χρειάζονται μεγάλες εγκαταστάσεις, όπως φράγματα ή σωλήνες. Ακόμα αποτελούν φιλικά προς το υδάτινο οικοσύστημα. Η μελέτη και η κατασκευή τους βέβαια μπορεί να διαφέρει από ποταμό σε ποταμό καθώς η διαμόρφωση και το ανάγλυφο του εκάστοτε ποταμού ποικίλει. Ο σχεδιασμός έγινε με βάση το ότι τα ποτάμια στην Ελλάδα θα μπορούσαν άνετα να υποστηρίξουν μια τέτοια κατασκευή. Για τα ελληνικά δεδομένα οι ταχύτητες των ποταμών κυμαίνονται από 0-3 m/s ενώ τα 2m/s είναι η πιο συχνή. Μία ιδέα είναι η τοποθέτηση πλωτών τροχών σε όλο το μήκος του ποταμού σε περιοχές οι οποίες είναι απόμακρες αλλά αποτελούν τουριστικό προορισμό.

## Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

### 6.1 Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας καταλήγουμε στο συμπέρασμα, ότι τα μικρά ποτάμια θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας έστω και αν αυτή είναι μικρή σε σχέση με άλλους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Η “εκμετάλλευση” αυτή μπορεί να επιτευχθεί με τους πλωτούς μύλους. Οι πλωτοί μύλοι αποτελούν μια πολύ οικονομική και εύχρηστη τεχνολογική κατασκευή καθώς παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως η φορητότητα και η μη παρέμβασή τους στο υδάτινο οικοσύστημα. Ωστόσο, δεν αποτελούν και την καλύτερη λύση για ποταμούς με χαμηλή ταχύτητα. Η χρησιμότητα του πλωτού μύλου μπορεί επεκταθεί αλλά σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να αντικαταστήσει τα κλασικά Υ/Η εργοστάσια.

Είμαστε αρκετά ικανοποιημένοι από το τελικό αποτέλεσμα καθώς η εύρεση πηγών αποτελούσε ένα από τα πιο δύσκολα σημεία αυτής της διπλωματικής. Οι έρευνες που έχουν γίνει είναι ελάχιστες καθώς όλες οι πηγές ήταν πειράματα και μελέτες από πανεπιστήμια του εξωτερικού.

### 6.2 Προτάσεις βελτίωσης

Αρχικά όσον αφορά την κατασκευή του ροόμετρου, οι μελλοντικές αλλαγές που θέλουμε να κάνουμε είναι η τοποθέτηση ενός “διακόπτη” του αισθητηρίου με περισσότερα περύγια ώστε να επιτύχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις. Επίσης, η ωραιοποίηση της κατασκευής αποτελεί βασική μας προτεραιότητα. Ακόμα, η τοποθέτηση ενός ESP8266 με σκοπό την αποστολή των μετρήσεων σε ένα αρχείο cloud αποτελεί μια καλή ιδέα.

Έπειτα, για τον σχεδιασμό του πλωτού μύλου, όπως αναφέραμε και πριν η τοποθέτηση ενός κιβωτίου ταχυτήτων με επιλογή την αλλαγή των γραναζιών αντί για το σύστημα ιμάντα-τροχαλίας θα μπορούσε να βελτιώσει την μεταφορά της κίνησης. Θα μπορούσαμε με την αλλαγή των γραναζιών να χρησιμοποιήσουμε το ίδιο σύστημα σε διάφορα σημεία του ποταμού ή και σε άλλους ποταμούς, όπου αλλάζει η ταχύτητα, ρυθμίζοντας τις στροφές της γεννήτριας. Σε μία πιθανή μελλοντική κατασκευή του, ίσως βρεθούν και άλλα χαρακτηριστικά τα οποία θα θέλουν αλλαγή γιατί όπως γνωρίζουμε στην πράξη υπάρχει “θόρυβος” και τριβή, δύο πράγματα τα οποία δεν μπορούμε να γνωρίζουμε στην θεωρία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Άρθρο: “All about energy” [online]. Available: <http://www.allaboutenergy.gr/Piges23.html>
- [2] Ιωάννης Χριστάκης- Ιωάννης Αθανασόπουλος “Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα και οικονομική αξιολόγηση” Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ
- [3] Πτυχιακή εργασία: Πασσιάς Ηλίας “ Υδροηλεκτρική Ενέργεια” ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
- [4] Πτυχιακή εργασία: Στρούζας Παναγιώτης “Συγκριτική Μελέτη Ηλεκτρομηχανικού Εξοπλισμού. Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Αναλύσεις κόστους μεταξύ τοπικών φραγμάτων στην Δυτική Ελλάδα” ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
- [5] Μεταπτυχιακή εργασία: Μπέρτσου Μαρία Μαργαρίτα “ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΦΟΥΡΝΟΥΣ ΚΟΡΣΕΩΝ” ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
- [6] Διπλωματική εργασία: Μαρίνα Νικ. Μέγα “ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΕΡΓΑ ΣΤΙΣ ΟΡΕΙΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ” ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
- [7] Διπλωματική εργασία: ΔΑΜΚΑΛΗ ΡΩΞΑΝΗ-ΚΥΡΙΑΚΗ “ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΙΚΡΟΥ ΕΛΙΚΟΕΙΔΟΥΣ ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΓΙΑ ΑΞΟΝΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ” ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
- [8] Μ.Ε. ΤΣΟΥΛΑΝΑΣ ΛΟΥΚΑΣ Γ. 2016 “Τεχνικές υπολογισμού παροχής νερού ενός ποταμού”
- [10] G. Müller, R. Jenkins & W.M.J. Batten «Potential, performance limits and environmental effects of floating water mills» University of Southampton, School of Civil Engineering and the Environment, Highfield, Southampton
- [11] Panagiotis Margonis 2017 «Modeling and Optimization of a Hydroelectric Power Plant for a National Grid Power System Supply»
- [12] Dewatama\*, M Fauziah, H K Safitri and S Adhisuwignjo Department Electrical Engineering, State Polytechnic of Malang, Malang, Indonesia 2020 “Design and implementation: Portable Floating Pico-Hydro”
- [13] Internet site: Last Minute ENGINEERS “Arduino Interface an I2C LCD with Arduino” [online] Available: <https://lastminuteengineers.com/i2c-lcd-arduino-tutorial/>
- [14] Internet site: ROHM Semiconductor “What is a Photointerrupter?” [online] Available: <https://www.rohm.com/electronics-basics/photointerrupters/what-is-a-photointerrupter>
- [15] Πτυχιακή εργασία: Βλαγοΐδης Νικόλαος “Σύστημα Βασισμένο σε Arduino για την παρατήρηση ροής υγρού” Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Σχολή Θετικών Επιστημών Τμήμα Πληροφορικής
- [16] Internet site: Arduino “What is Arduino” [online] Available: <https://www.arduino.cc/en/hardware>

- [17] International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science “DESIGN OF PICO HYDRO TURBINE: FLOATING AND ADJUSTABLE PROPELLER” 07/July/2020
- [18] Κιοσκερίδης Ν. Ιορδάνης, "Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και εφαρμογές των Ηλεκτρονικών Ισχύος", Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2017
- [19] Stephen J. Chapman “Ηλεκτρικές Μηχανές” Εκδόσεις Τζιόλα, 2016
- [20] Prashant Tripathi “ SN 517 Plummer block” December 17th, 2021 <https://grabcad.com/library>
- [21] RC Manos online Available: <https://www.rcmanos.gr/rc-boat-equipment-hardware/rc-boat-props/propeller-graupner-3-bladed-rh-55mm-m4>
- [22] RC Manos online Available: <https://www.rcmanos.gr/rc-boat-equipment-hardware/rc-boat-shafts/rc-boat-prop-shaft-m4-200-mpj>
- [23] Joy P. Michaud and Marlies Wierenga, EnviroVision July 2005 “ESTIMATING DISCHARGE AND STREAM FLOWS A Guide for Sand and Gravel Operators”
- [24] Καθ. Αθανάσιος Λουκάς Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας “Υδρομετρία – Μέτρηση Απορροών”
- [25] Agus Indonesia “electric motor” <https://grabcad.com/library>
- [26] Κωνσταντίνος Δίπλας “Σύγχρονη γεννήτρια” Α.Ε.Ι. Πειραιά- Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. Μαίος 2017
- [27] ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΠΙΘΑΣ Πανεπιστήμιο Πατρών “ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ” Φεβρουάριος 2018
- [28] Panagiotis Margonis Diploma Thesis “Modeling and Optimization of a Hydroelectric Power Plant for a National Grid Power System Supply. Case Study: Stratos Hydroelectric Dam” 24 March 2017
- [29] Variable area flowmeters: <https://new.abb.com/products/measurement-products/flow/variable-area-flowmeters>
- [30] Ultrasonic Flowmeters: <https://www.industry-plaza.com/proline-prosonic-flow-b-200-ultrasonic-f-p386394080.html>
- [31] Magnetic Flowmeters: <https://www.supmeaauto.com/magnetic-flowmeter>
- [32] Magnetic Flowmeters: <https://assuredautomation.com/news-and-training/magnetic-flow-meter-basics/>
- [33] Turbine Flowmeters: <https://www.enggyclopedia.com/2012/01/turbine-flow-meters/>
- [34] Paddle Wheel Flowmeters: <https://automationforum.co/what-is-a-paddlewheel-flow-meter/>
- [35] Vortex Shedding Flowmeters: <https://instrumentationtools.com/working-principle-of-vortex-flow-meter/>
- [36] Variable Area (Float Style) Flowmeters: [http://www.forpipe.com/e\\_products/show/?14-Variable-Area-Float-Flow-Meter-14.html](http://www.forpipe.com/e_products/show/?14-Variable-Area-Float-Flow-Meter-14.html)

[37] Differential Pressure Flowmeters: <https://www.quora.com/What-is-a-differential-flow-meter>

[38] Σταματία Ι. Γκιάλα – Φήκαρη “Μελέτη, σχεδίαση και κατασκευή μικρού υδροηλεκτρικού συστήματος με υδρογεννήτρια 350W για αγροτικές εφαρμογές χαμηλού κόστους” Οκτώβριος 2012

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

### Παράρτημα Α

```

/*
  Water Flow Sensor
*/
volatile float flow_frequency; // Measures flow sensor pulses
float vol = 0.0, l_minute;
unsigned char flowsensor = 2; // Sensor Input
unsigned long currentTime;
unsigned long cloopTime;
int RPM;
int RPS;
float linear_speed;
float supply;
#include <LiquidCrystal.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,24,4); // SCL A5 SDA A4

void flow () // Interrupt function
{
  flow_frequency++;
}
void setup()
{
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  pinMode(flowsensor, INPUT);
  digitalWrite(flowsensor, HIGH); // Optional Internal Pull-Up
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowsensor), flow, RISING); // Setup Interrupt

```

```

lcd.init();
lcd.clear();
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Water Flow Meter");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Circuit Digest");
currentTime = millis();
cloopTime = currentTime;
}
void loop ()
{
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
  currentTime = millis();
  // Every second loop
  if(currentTime >= (cloopTime + 1000))
  {
    cloopTime = currentTime; // Updates cloopTime
    if(flow_frequency != 0){
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("pulses");
      lcd.print(flow_frequency);
      flow_frequency=0;
      Serial.print(flow_frequency, DEC); // Print RPM (usb needed)
      Serial.println(" ");
    }
    else {
      Serial.println(" flow rate = 0 ");
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("pulses=");
      lcd.print(0);
    }
  }
}

```

```

    }
  }
}

```

## Παράρτημα Β

```

/*
  Water Flow Sensor
*/

volatile float flow_frequency; // Measures flow sensor pulses
float vol = 0.0,l_minute;
unsigned char flowsensor = 2; // Sensor Input
unsigned long currentTime;
unsigned long cloopTime;
int RPM;
int RPS;
float linear_speed;
float supply;
#include <LiquidCrystal.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,24,4); // SCL A5 SDA A4

void flow () // Interrupt function
{
  flow_frequency++;
}
void setup()
{
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
  pinMode(flowsensor, INPUT);
  digitalWrite(flowsensor, HIGH); // Optional Internal Pull-Up
  Serial.begin(9600);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(flowsensor), flow, RISING); // Setup Interrupt

```

```

lcd.init();
lcd.clear();
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Water Flow Meter");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Circuit Digest");
currentTime = millis();
cloopTime = currentTime;
}
void loop ()
{
digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
currentTime = millis();
// Every second loop
if(currentTime >= (cloopTime + 1000))
{
cloopTime = currentTime; // Updates cloopTime
if(flow_frequency != 0){
RPS = (flow_frequency /2); // (RPM)
RPM=RPS*60;
linear_speed=flow_frequency/50;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("u=");
lcd.print(linear_speed);
lcd.print(" m/s");
supply=linear_speed*0.00237;
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Q=");
lcd.print(supply);
lcd.print(" m3/s");
flow_frequency = 0; // Reset Counter

```

```

Serial.print(RPM, DEC); // Print RPM (usb needed)
Serial.println(" rpm");
}
else {
Serial.println(" flow rate = 0 ");
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("u=");
lcd.print(0);
lcd.print(" m/s");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Q=");
lcd.print(0);
lcd.print(" m3/s");
}
}
}

```

### Παράρτημα Γ

```

clc
clear all
close all

Cp=0.25;
r=1000;
x=1.35;
y=0.35;
h=0.0:0.05:1;
u=0:0.2:4;

u1=1;
u2=2;
u3=3;
u4=4;

Pmhx1=(r*Cp*x*y*(u1^3))/2
Pmhx2=(r*Cp*x*y*(u2^3))/2
Pmhx3=(r*Cp*x*y*(u3^3))/2
Pmhx4=(r*Cp*x*y*(u4^3))/2

```

```
Pel1=Pmhx1*h
Pel2=Pmhx2*h
Pel3=Pmhx3*h
Pel4=Pmhx4*h

hold on
grid on
grid minor
plot(h,Pel1, 'r-o', 'MarkerSize', 2, 'lineWidth', 2)
plot(h,Pel2, 'b-o', 'MarkerSize', 2, 'lineWidth', 2)
plot(h,Pel3, 'm-o', 'MarkerSize', 2, 'lineWidth', 2)
plot(h,Pel4, 'k-o', 'MarkerSize', 2, 'lineWidth', 2)
xlabel('απόδοση γεννήτριας', 'FontSize',10)
ylabel('Ισχύς (Watt)', 'FontSize',10)
title('διάγραμμα ισχύος-απόδοσης γεννήτριας', 'FontSize',16)
legend('1m/s', '2m/s', '3m/s', '4m/s')
```